

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Termodiagnostika dmyšné armatury vysoké pece

Thermodiagnostic of Blast Furnace's Tuyere Stock

Student:

Marie Franková

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2016



VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Marie Franková**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma:

**Termodiagnostika dmyšné armatury vysoké pece**  
**Thermodiagnostic of Blast Furnace's Tuyere Stock**

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

V bakalářské práci se zabývejte diagnostikou dmyšné armatury vysoké pece. Pro diagnostiku technického stavu využijte metody termodiagnostiky. V bakalářské práci shrňte problematiku týkající se termodiagnostiky a její možnosti aplikace na dmyšné armatury na vysokých pecích. Proveďte potřebná měření, získané data analyzujte a proveďte patřičná vyhodnocení a doporučení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – MONI, V. – BLATA, J.: *Termografie. Studijní podklady*, Ostrava 2010, 69 s.

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

LYSENKO, V.: *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. BEN – technická literatura, Praha 2005, 1.vydání, 160s., ISBN 80-7300-180-2

ČSN 01 6910 *Úprava písemností zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, 2007.48 s.

ČSN ISO 690 (01 0197) *Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace*

PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 30. 6. 2009 [cit. 2009-30-10]. Dostupný z www: <URL: <http://www.345.vsb.cz/KE%20vyuka/Jak%20ps%C3%A1t%20cerven%202009.pdf>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... ..

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Franková Marie

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Poštovní 2272/25, 70200

Moravská Ostrava

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

FRANKOVÁ, M. Termodiagnostika dmyšné armatury vysoké pece: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2016, počet s. 51. Vedoucí práce: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Tato práce je zaměřena na termodiagnostiku poruch dmyšných souprav vysoké pece. Úvodní část práce se zabývá problematikou technické diagnostiky a metodami využitelnými u dmyšných souprav. Následující kapitoly analyzují termodiagnostiku a její druhy, zejména termografii. Pro představu je v práci popis vysoké pece a její technologické poruchy. Cílem práce je provést vyhodnocení teplot naměřených termokamerou na dmyšných soupravách. Závěrečný okruh je věnován nalezeným poruchám a doporučení dalšího postupu.

Klíčová slova: termodiagnostika, termografie, teplota, vysoká pec, dmyšná souprava

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

FRANKOVÁ, M. Thermodyagnostics of Blast Furnace's Tuyere Stock: bachelor thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2016, number of pages: 51. Thesis supervisor: Ing. Jan Blata, Ph.D.

This thesis focuses on thermodyagnostics of faults of blast furnace's tuyere stocks. The introductory part deals with technical diagnostics and tuyere stock diagnostics methods. The following chapters analyze thermodyagnostics and its varieties, especially thermography. To better illustrate the subject matter, the thesis also includes a description of blast furnaces and technological faults. The aim of this thesis is the evaluation of temperatures measured with a thermal imager. The final chapter deals with the found faults and gives recommendations for further procedure.

Key words: thermodyagnostics, termography, temperature, blast furnace, tuyere stock

# Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	10
Úvod .....	11
1 Charakteristika pracovišť .....	12
1.1 Paul Wurth, a.s. ....	12
1.2 Třinecké železářny, a.s. ....	12
2 Technická diagnostika .....	14
2.1 Metody technické diagnostiky využitelné u dmyšných souprav .....	15
3 Termodiagnostika .....	16
3.1 Metody termodiagnostiky .....	16
3.2 Teplota .....	19
3.3 Termografie .....	20
3.3.1 Principy termografie .....	21
3.3.2 Technika měření termokamerou a vlivy na přesnost .....	21
4 Popis celku vysoké pece .....	23
4.1 Konstrukce vysoké pece .....	23
4.2 Technické údaje vysokých pecí Třineckých železáren .....	25
4.3 Dmyšná souprava .....	25
4.4 Technologické poruchy na vysokých pecích .....	27
4.4.1 Závady detekovatelné na dmyšných soupravách .....	29
5 Totálně produktivní údržba .....	30



5.1	Totálně produktivní údržba Třineckých železáren .....	31
6	Měření na vysoké peci Třineckých železáren .....	32
6.1	Teoretický rozbor měření.....	32
6.2	Popis měřicího přístroje .....	32
6.3	Postup měření .....	34
6.4	Naměřené hodnoty a zpracování.....	34
6.5	Vyhodnocení naměřených výsledků .....	44
6.6	Doporučení.....	44
	Závěr.....	46
	Seznam použité literatury .....	47
	Seznam použitých obrázků.....	48
	Seznam použitých tabulek.....	49
	Seznam použitých grafů .....	51

## Seznam použitých značek a symbolů

Označení	Legenda	Jednotka
a.j.	A jiné	[-]
a.s.	Akciová společnost	[-]
atp.	A tak podobně	[-]
cca	Přibližně z latinského circa	[-]
°C	Stupeň Celsia	[°C]
CEZ	Celková efektivita zařízení	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
°F	Stupeň Fahrenheit	[°F]
IR	Infrared (záření)	[-]
K	Kelvin	[K]
m	Metr	[m]
m <sup>3</sup>	Metr krychlový	[m <sup>3</sup> ]
min	Minuta	[min]
Mpx	Megapixel	[Mpx]
mRad	Miliradián	[rad]
PCI	Pulverized Coal Injection (vstřikování prachového uhlí)	[-]
t	Tuna	[t]
T	Teplota	[°C]
tzv.	Takzvaný	[-]
viz	Je možno vidět z latinského videre licet	[-]
ε	Emisivita	[-]

## Úvod

V bakalářské práci se zabývám termodiagnostikou poruch na dmyšných soupravách vysokých pecí, především termografií. Vzhledem k téměř nulovému zpracování v literatuře jsem se rozhodla zařadit kapitolu o popisu konstrukce vysoké pece. Dále považuji za důležitý systém údržby a v této souvislosti nastiňuji téma totálně produktivní údržby.

Cílem této práce je provést termodiagnostické měření pláště celé soupravy a na základě tohoto měření rozhodnout, zda se na ní vyskytují vady. Tyto vady určit a doporučit další kroky, které by mohly vést k prodloužení životnosti souprav.

Úvodní kapitola je zaměřena na pracoviště, se kterými jsem spolupracovala na této práci. Zadání tématu vytvořil kolektiv ostravské pobočky firmy Paul Wurth, a.s. a samotné měření probíhalo na vysokopecním provozu Třineckých železáren.

V druhé kapitole se zabývám pojmem technická diagnostika. Kapitola obsahuje přehled obecných metod technické diagnostiky, včetně těch, které jsou využitelné u dmyšných souprav. Třetí kapitola hlouběji proniká do tématu termodiagnostiky. Rozlišuji zde způsoby kontaktního a bezkontaktního měření, vysvětluji pojem teplota a detailněji termografii. Do kapitoly čtvrté jsem zařadila popis vysoké pece zaměřený na dmyšnou soupravu. Také poukazuji na druhy poruch diagnostikovatelných termokamerou. Předposlední kapitola je věnovaná tématu totálně produktivní údržby, protože systém údržby k provozu neodmyslitelně patří. Podkapitola řeší konkrétní způsob údržby v Třineckých železárnách. Jako stěžejní část mé práce považuji poslední, šestou kapitolu, která se zabývá samotným měřením teplot pláště šikmé části, kolene, píšťaly a vyhodnocením naměřených výsledků. Součástí je i doporučení dalších kroků vedoucích k delší životnosti souprav.

V závěru práce z naměřených teplot zhodnocuji, jaké poruchy se na dmyšných soupravách vyskytují, a jak se těmto vadám a jejich následkům vyhnout.

Bakalářská práce bude zpracována z monografií českých i zahraničních autorů, zabývajících se danou problematikou. Taktéž budou využity zdroje zejména společnosti Paul Wurth, a.s., ale i Třineckých železáren. V neposlední řadě budu čerpat z odborných a internetových článků.

# 1 Charakteristika pracovišť

Kapitola je zpracována dle zdrojů 8 a 9.

## 1.1 Paul Wurth, a.s.

Společnost Paul Wurth, a.s. má od svého vzniku v roce 1870 centrálu v Lucembursku a v posledních desetiletích se transformovala do mezinárodního strojírenského podniku. Paul Wurth Group je jedním ze světových lídrů v navrhování a dodávkách sortimentu hutnictví železa a přidružených odvětvích. Politikou společnosti je být vždy blízko zákazníkovi, proto má Paul Wurth Group četné zastoupení v zemích Evropy, Asie, Ameriky i Afriky.

Zázemí ostravské pobočky společnosti sídlí na ulici Na Spojce 1897/2, kde jsou umístěny pracovní prostory především pro konstruktéry a výpočtáře, ale také administrativní zázemí. Zaměstnanci Paul Wurth, a.s. obvykle cestují za svými zákazníky do prostředí jejich firem, aby mohli komplexně řešit danou problematiku. Logo společnosti níže na Obr. 1:1.



Obr. 1:1 - Logo společnosti Paul Wurth, a.s. [8]

## 1.2 Třinecké železářny, a.s.

Třinecké železářny jsou největší českou hutí a vyrábí nejvíce oceli v České republice. Společně s Moravia Steel a desítkami dceřiných společností se řadí k významným průmyslovým uskupením ve střední Evropě. Tradice výroby sahá až do roku 1839. Třinecké železářny jsou nejen významným hutním podnikem, ale také důležitým prvkem města Třinec i celého kraje. Železářny přispěly k přeměně malé zemědělské obce na významné město s osobitým charakterem (Obr. 1:2).

Dnes, veškeré své produkty, mezi které patří zejména kolejnice a příslušenství, válcovaný drát, válcované tyče, lité a válcované polotovary, vyváží do více než 60 zemí všech světadílů.



Obr. 1:2 Letecký snímek města Třinec [9]

## 2 Technická diagnostika

Tato kapitola byla zpracována dle literatury 1, 2, 3, 5, 8, 11.

Technickou diagnostiku považujeme za vědní obor, který se zabývá technickými systémy (zařízení, stroje, přístroje) za účelem zjišťování jejich technického stavu. To znamená, že systém je schopen vykonávat svou úlohu za předem stanovených podmínek. Podnět pro vznik technické diagnostiky vznikl v době, kdy technické systémy počínaly být složitější a méně spolehlivé. Tedy zhruba v padesátých letech minulého století. V této době se metody diagnostiky už nezabývaly využitím ryze subjektivních metod.

Úkolem technické diagnostiky je činnost preventivní (předcházení poruch pravidelnými kontrolami), prediktivní (na základě naměřených hodnot předvídáme životnost) a proaktivní (promyšlené a záměrné plánování budoucích údržbářských činností) především v průmyslových podnicích. Stále častěji se kontrola technického stavu provádí bezdemontážními a nedestruktivními metodami, jelikož odstavení stroje z provozu zvyšuje výrobní náklady.

Názvosloví technické diagnostiky bylo dříve upraveno normou ČSN 01 0105, která však byla zrušena roku 2005.

Existuje řada diagnostických metod a níže uvádím jejich přehled:

- Vibrodiagnostika – v kritických bodech měříme a následně vyhodnocujeme mechanická kmitání, chvění a vibrace.
- Diagnostika modální analýzou – měří se a vyhodnocují vlastní frekvence mechanické konstrukce včetně jejich tlumení, čímž získáme úplný popis mechanické soustavy.
- Akustická diagnostika – určení stavu soustavy pomocí měření hluku s aktuálním frekvenčním spektrem.
- Elektrodiagnostika – měření velikostí a změn elektrických veličin, sledování jevů v elektrických systémech.
- Teplotní diagnostika – měření teplot a změn v kritických místech.
- Tribodiagnostika – analýza stavu aplikovaných maziv.

- Diagnostika statických zatížení – analýza a měření statických zatížení, napjatosti a tlaku v kritických místech.
- Termografická diagnostika – měření a analýza teplotních polí, sledování rozložení teploty.
- Další úzce specializované obory technické diagnostiky (defektoskopie, aj.).

## **2.1 Metody technické diagnostiky využitelné u dmyšných souprav**

U dmyšných souprav můžeme využít například:

- Akustickou diagnostiku – degradace materiálu, únik plynů.
- Diagnostika měřením provozních parametrů – rychlost horkého vzduchu, tlak, průtok.
- Subjektivní diagnostika – zrakem a sluchem úniky médií.
- Termodiagnostika – špatná izolace, úniky tepla.

Z těchto uvedených metod jsem zvolila termodiagnostiku, konkrétně pak bezdotykové měření teploty pomocí termokamery. Tato metoda je nejvhodnější pro zjišťování závad, které by mohly vzniknout na soupravách. Těmto poruchám se dále věnuji v kapitole 4.4.1.

### **3 Termodiagnostika**

Tato kapitola byla zpracována dle zdrojů 1, 2 a 11.

Metoda termodiagnostiky spočívá v měření teploty povrchu těles, kterou následně používáme jako parametr charakterizující určitý stav objektu. Měření teploty může probíhat v bodech, pomocí dotykových teploměrů, nebo bezdotykových v případě, kdy je měřené místo špatně přístupné, nebo také termografie pro rozměrnější technické systémy.

Diagnózu technického systému vytváříme na základě porovnání hodnot naměřených s běžnými provozními teplotami. Je tedy možné zjistit místa s rozdílnými teplotními potenciály. Měření a snímání teploty povrchů má nejen v průmyslu široké uplatnění. Využíváme ho v oblasti elektrotechniky například na měření kvality spojů na všech napěťových hladinách, ve stavebnictví k odhalení tepelných úniků z budov, v hutnictví, na měření stavu izolací teplovodních potrubí, odhalení slabých míst a rozložení teplotních polí vyzdívek a mnoho dalších.

Termodiagnostika je nejpokrokovější způsob řízení preventivní údržby. Je to také nejrychleji vyhodnotitelný diagnostický způsob. Termodiagnostické měření přesně lokalizuje měřené místo, urychlením měření jsou eliminovány systémové chyby způsobené tepelnou vodivostí materiálu a jeho prostředí. Považujeme ji za moderní metodu zkoumání stavu zařízení, která se neustále vyvíjí a je do budoucna velice perspektivní.

Jako výhody termodiagnostiky bereme rychlost zjištění a lokalizace závady za plného provozu, na základě vyhodnocení termogramu lze určit potřebná opatření a jejich prioritu, predikovat termín odstávky daného zařízení kvůli opravě či výměně.

#### **3.1 Metody termodiagnostiky**

##### **I. Kontaktní měření teploty a teplotních polí**

Dotykové měření teploty využívá přenosu tepla a spočívá v přímém kontaktu s měřeným objektem. Využívá se zejména u dobře přístupných objektů.

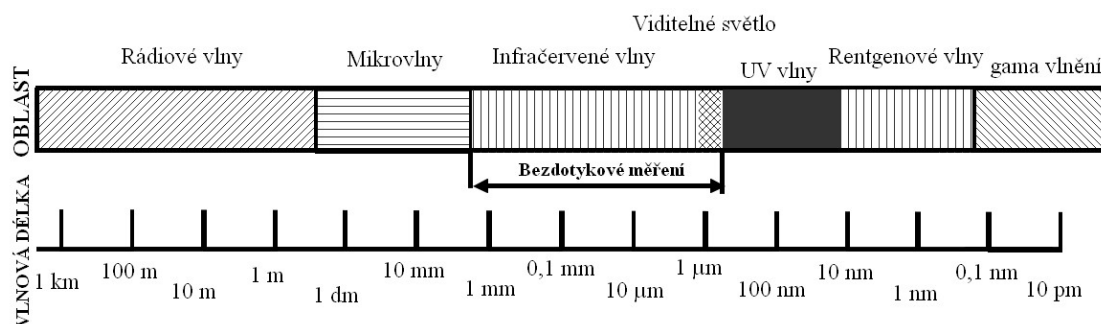


- a) Metody měření, převádějící změny teplot na změny některé elektrické veličiny:
- Odporové snímače, využívající růst odporu některých materiálů (měď, nikl) s teplotou. Rozsah měření  $-200^{\circ}\text{C} \div +800^{\circ}\text{C}$ .
  - Termistory, polovodičové snímače teploty s kladným, nebo záporným součinitelem změny teploty. Výhodou je velká citlivost, rozsah měření se liší podle druhu termistoru.
  - Termoelektrické snímače, využívající jevu, kdy na obvodě tvořeném dvěma vybranými kovy na koncích spojenými, vede rozdíl teplot těchto spojů ke vzniku elektromotorické síly. Měřený rozsah je u těchto snímačů široký, závisí na druhu materiálu.
- b) Metody využívající teplo citlivé barvy, tzv. termokomory. Existují termokomory pro jednorázové použití (při překročení jmenovité teploty se odstín barvy změní, při poklese zůstává stejný) a termokomory pro stálou indikaci teplot. Vyskytuje široké spektrum barev pro rozsah teplot  $+40^{\circ}\text{C} \div +1400^{\circ}\text{C}$ .
- c) Metody využívající organické sloučeniny, které ohřevem vytváří molekulární uspořádání, ale nezkapalní. Jde o tzv. kapalné krystaly, které mění barvy s teplotou. Umožňují jen relativní měření teplot s rozsahem  $+10^{\circ}\text{C} \div 100^{\circ}\text{C}$ .

## II. Bezkontaktní měření teplot a teplotních polí

Tam, kde nebylo možné použít dotykového měření teploty, zejména při měření vysokých teplot, se používalo bezkontaktní měření (nad  $500^{\circ}\text{C}$ ). V dnešní době už se toto měření, které spočívá v měření teploty povrchu objektu na základě elektromagnetického záření vysílaného objektem a přijímaného detektorem, přesouvá k použití u nižších teplot.

Pro bezdotykové měření se využívá vlnových délek od  $0,4\mu\text{m}$  do  $25\mu\text{m}$  (viz Obr. 3:1), které pokrývají oblast viditelného spektra a infračerveného spektra. Teplotně je tento rozsah od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $2\,000^{\circ}\text{C}$ .



Obr. 3:1 Světelné spektrum

Metody měření zaměřené na detekci a vyhodnocení té části elektromagnetického záření, které je vyvoláno teplotou objektu (IR záření):

- Pyrometry, kterých je mnoho druhů, pracují na různých principech. Např. poměrový (dvoubarevný) pyrometr pracuje na principu stanovení poměru intenzity tepelného záření na dvou různých vlnových délkách.
- Systémy snímání teplotních polí, které rozkládají teplotní pole povrchu diagnostikovaného objektu a analyzují infračervené záření tělesa. Ty, které pracují bez rozkladu teplotního obrazu, (obrazové měniče, infrafotoografie) jsou málo používané. Termokamery pracují se systémem rozkladu teplotního obrazu, je tedy možné teploty vyhodnotit v reálný čas díky monitoru. Teplotní rozsah je od  $-30^{\circ}\text{C}$  ÷  $+1500^{\circ}\text{C}$  a více. Průběh měření vidíme na Obr. 3:2.

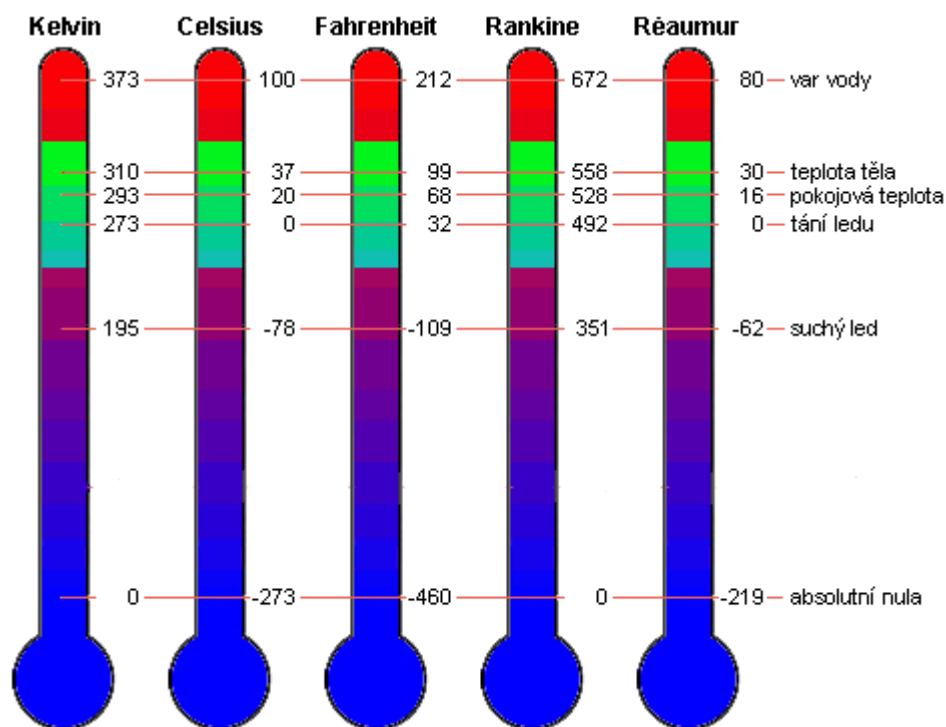


Obr. 3:2 Bezkontaktní měření teploty u vysoké pece

Obecně lze jako výhody bezkontaktního měření považovat zejména to, že měřící technika neovlivňuje měřený objekt, je možné zpracovat celý povrch tělesa, lze měřit rychlé změny teplot měřených povrchů i pohybující se objekty. Za nevýhody považujeme nejistotu měření způsobenou neznalostí emisivity měřeného povrchu, povrch měřeného objektu musí být viditelný a změřit lze pouze povrchová teplota.

### 3.2 Teplota

Jedná se o stavovou veličinu, která určuje stav termodynamické rovnováhy uzavřené soustavy těles. Tento stav se charakterizuje termodynamickou teplotou. Základní jednotkou termodynamické teplotní stupnice je kelvin (K). Ten má svůj počátek v absolutní nule a byl určen jako referenční bod termodynamické stupnice. Teplotu lze také určovat podle dalších teplotních stupnic, např. Celsiovy, kde jednotkou je stupeň celsia ( $^{\circ}\text{C}$ ). Tato stupnice je odvozena od termodynamické stupnice. Jako další stupnice zařazujeme Rankinovu, Réamurovu či Fahrenheitovu. Vzájemné závislosti teplotních stupnic vidíme na Obr. 3:3.



Obr. 3:3 Porovnání teplotních stupnic [10]

Teplotu považujeme za nepřímo měřenou veličinu, protože pro její určení se využívá závislosti různých fyzikálních veličin na teplotě. Mezi teplotně závislé veličiny zařazujeme nejčastěji objem pevných a kapalných těles, délkové rozměry, tlak v plynech, atp.

Teplo je forma energie v uzavřené soustavě těles, která je závislá na pohybu částic této soustavy. Není stavovou veličinou, jelikož nezávisí na aktuálním stavu soustavy, ale na historii vývoje této soustavy.

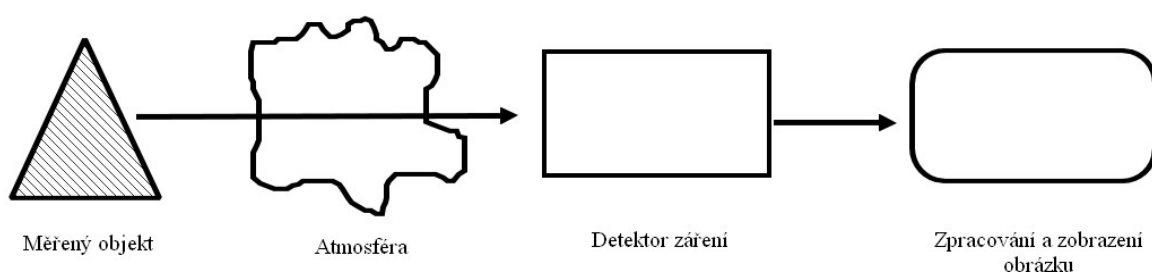
### 3.3 Termografie

Nedestruktivní metoda, která je založena na zobrazení a následném vyhodnocení teplotního pole měřeného objektu, k čemuž se používá termografická kamera. Ta umožňuje popsat zobrazovací systém transformující informace o teplotním rozložení na povrchu snímaného tělesa v infračerveném spektru na obraz, který je možno rozlišit lidským okem. Metoda zpracovává hodnoty naměřené teploty v reálném čase.

### 3.3.1 Principy termografie

Termografie spočívá ve zkoumání teplotního pole na povrchu snímaného tělesa a dále zobrazením a kvantifikací tohoto pole. Pole je vytvářeno emitujícími fotony, představujícími zářivou energii infračerveného záření.

Měřený povrch považujeme jako zdroj radiace, kde všechny body povrchu vysílají fotony do všech směrů. Tok a jeho hustota je závislý na teplotě objektu, s rostoucí teplotou se zvyšuje i zářivý tok fotonů. Detektor, který vysílá elektrické impulsy, zachycuje tok fotonů. Ten je následně zpracován na obrazový výstup. Schematický obrázek základního měřicího řetězce je uveden na Obr. 3:4.



Obr. 3:4 Základní měřicí řetězec

### 3.3.2 Technika měření termokamerou a vlivy na přesnost

Termografická technika měří a zobrazuje radiaci objektu. Radiace, jinými slovy vyzařování, je funkcí teploty povrchu tělesa a umožňuje IR kameře tuto teplotu spočítat a vyobrazit. Tato vlastnost však nezávisí pouze na teplotě samotného objektu. Bez znalosti dalších faktorů a vlivů by nemohla být povrchová teplota objektů změřena.

Na přesnost měření má vliv zdánlivá odražená teplota, emisivita, atmosféra (vlastní vyzařování a útlum atmosféry) a další faktory, kterými jsou vlivy větru a povětrnostních podmínek, vlhkost, špatné zaostření objektu a vlastní nejistota měření způsobená přesností kamery. V některých termokamerách se kompenzuje pět hlavních vlastností okolí, které nepříznivě ovlivňují měření, a to:

- Emisivita - je poměr vyzařování tepelného zářiče k vyzařování dokonale černého tělesa za stejné teploty, je také nejdůležitější parametr vyzařování. U běžně

používaných povrchů se hodnota emisivity pohybuje přibližně v hodnotách od  $0,1 \div 0,95$ . U vysoce lesklých povrchů tato hodnota klesá a je menší, nebo rovna 0,1. Zoxidované natřené povrchy mají hodnotu vyšší. Lidská kůže má  $\varepsilon \approx 1$ . Hodnoty emisivity nalezneme v tabulkách emisivit pro různé vlnové délky, např. manuál k termokameře.

- Odražená zdánlivá teplota – je okolní tepelné záření odrážející se od lesklého povrchu měřeného objektu a dopadající na detektor IR kamery. Čím vyšší je hodnota emisivity, tím menší je vliv odražené zdánlivé teploty. Vzhledem k této závislosti je možné v softwaru zadávat jak emisivitu, tak odrážející se zdánlivou teplotu.
- Vzdálenost od měřeného objektu - vzdálenost mezi objektem a kamerou je také důležitým parametrem, jelikož atmosféra pohlcuje část vyzařování měřeného objektu.
- Relativní vlhkost vzduchu – tento parametr také tlumí záření měřeného objektu
- Teplota atmosféry – sama atmosféra je zdrojem tepelného záření, jehož intenzita závisí na její teplotě a složení

V praxi nejvyžívanější technikou měření je komparativní (srovnávací) metoda. Principem této techniky je vyhodnocení změn v teplotách měřeného objektu. Můžeme využít buď kvantitativní srovnávací termografii (efektivní metoda pro hodnocení stavu strojů a zařízení určením přibližné teploty) nebo kvalitativní srovnávací termografii. Příkladem kvantitativní metody může být provoz dvou a více zařízení za totožných podmínek, kdy jeden vykazuje zvýšení teplot, což indikuje pravděpodobné poškození. Nebo můžeme použít kvalitativní srovnávací termografii, která porovnává teplotní mapy jedné konkrétní komponenty se stejnou či podobnou, pracující v přibližně stejných podmínkách. Převážně se využívá v průmyslových odvětvích pro sledování nežádoucích oteplení ložisek a jiných komponent.

## 4 Popis celku vysoké pece

Tato kapitola byla vypracována podle literatury 4, 6, 7, 8, 9, 12.

Vysoká pec je šachtová vertikální pec, která je hlavním zařízením metalurgického procesu. V tomto uzavřeném systému se redukcí železných rud vyrábí surové železo. Pec pracuje kontinuálně do ukončení životnosti vnitřní šamotové vyzdívky (až 10 let). Moderní vysokopecní výroba vytaví denně přes 2000 tun surového železa a spotřebuje na to až 3× více surovin.

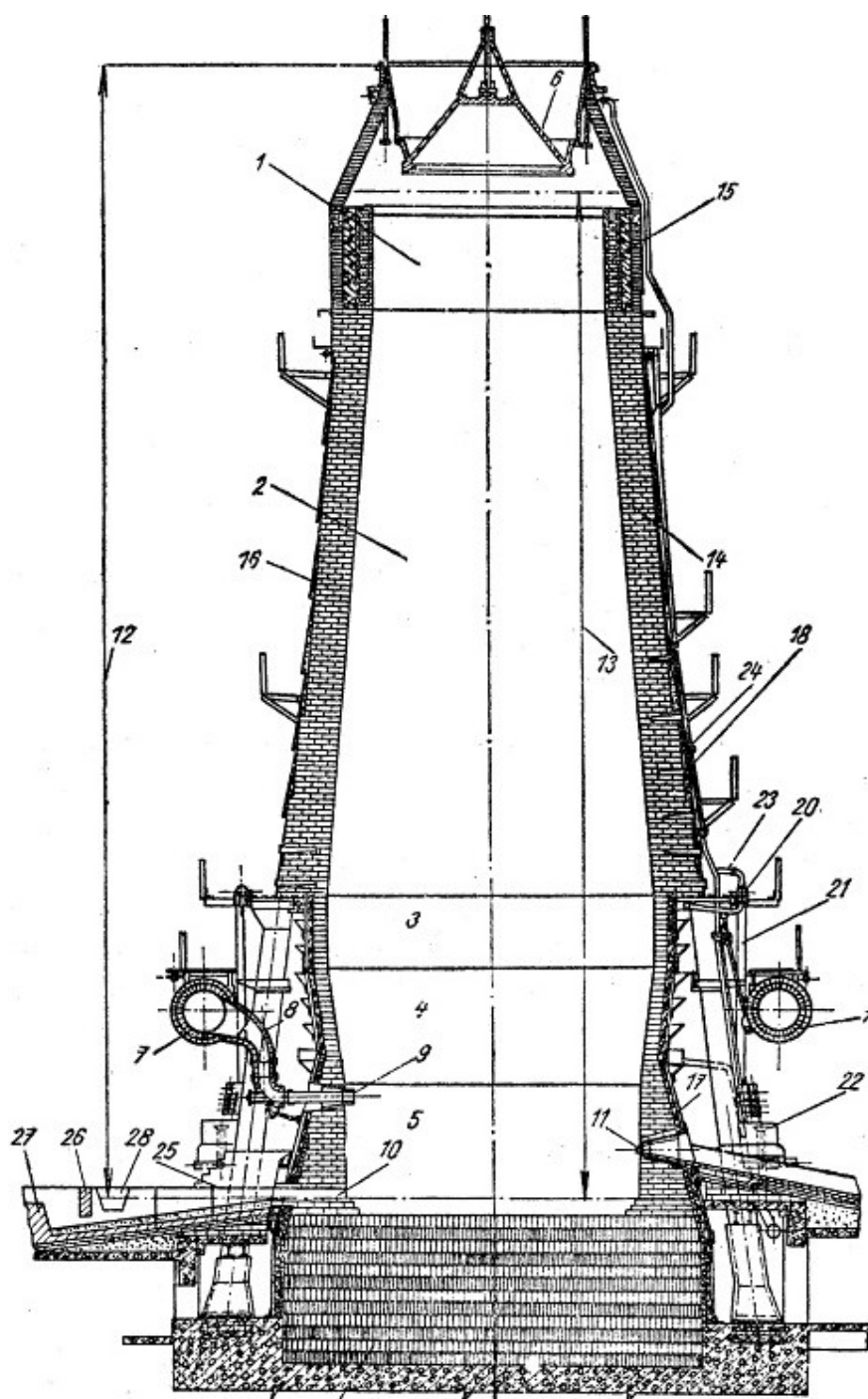
### 4.1 Konstrukce vysoké pece

Vysoká pec má kruhový průřez s průměrem kolem 10 m a výškou pece 25 – 40 m. Na povrchu je obalena ocelovým pláštěm chlazeným vodou, z vnitřní strany je zajištěna žáruvzdornou šamotovou vyzdívkou. V podstavě se nachází nístěj. Pec ve své nejširší části je nazývána rozpor. Vrchní část pece, sloužící k návozu vsázky a odvodu vysokopecního plynu, nazýváme sazebna. Náskres vysoké pece nalezneme na Obr. 4:1 dále.

Vsázku do pece dopravujeme pomocí skipu, složky vsázky jsou:

- železná ruda (prochází úpravami, homogenizací),
- struskotvorné přísady (zejména vápenec),
- koks (slouží jako palivo i redukční činidlo, částečně sytí železo uhlíkem),
- železný šrot,
- vzduch (podporuje hoření ve vysoké peci, předeřříván cca na 1250°C).

Pro diagnostické měření byl vybrán provoz Třineckých železáren, konkrétně vysoká pec č. 4. Technické údaje tohoto vysokopecního provozu nalezneme níže v Tab. 4:1.



Obr. 4:1 Konstrukce vysoké pece [4]

(1 – sazebna, 2 – šachta, 3 – rozpor, 4 – sedlo, 5 – nístěj, 6 – závěr sazebny, 7 – okružní větrovod, 8 – *dmyšná souprava*, 9 – výfučna, 10 – výpust surového železa, 11 – výpust strusky, 12 – celková výška pece, 13 – užitečná výška pece, 14 – vyzdívka šachty, 15 – ochranný pancíř sazebny, 16 – plášť pece, 17 – desková chladnice, 18 – skříňová chladnice, 19 – podstava, 20 – okružní potrubí na chladicí vodu, 21 – přívod chladicí vody, 22 – jímka na chladicí vodu, 23 a 24 – potrubí na chladicí vodu, 25 – žlab na surové železo, 26-28 – odlučovač strusky)



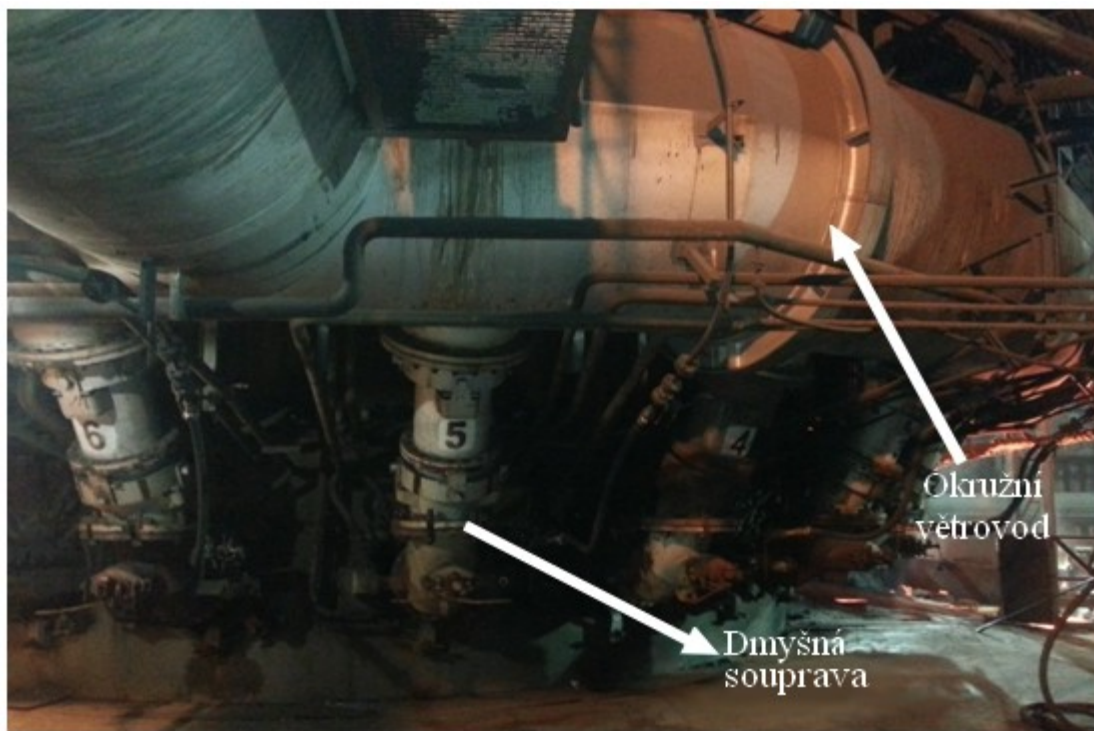
## 4.2 Technické údaje vysokých pecí Třineckých železáren

Tab. 4:1 Technické parametry [9]

Hlavní parametry vysokých pecí	Vysoká pec 4
Výroba surového železa / rok	cca 1 200 000 t
Užitečný objem	1373 m <sup>3</sup>
Průměr nístěje	8,2 m
Počet výfučen	20
Počet odpichových otvorů	1
Vyzdívka nístěje	Uhlíkové bloky
Počet ohříváčů větru/typ	4 s vnější spalovací šachtou
V provozu od	1923
Poslední generální oprava	2005

## 4.3 Dmyšná souprava

Po obvodu vysoké pece, asi 0,5 m pod dolním okrajem sedla (viz Obr. 4:2), je zabudováno do pláště pece 12 až 46 výfučen (v Třineckých železárnách 20). Skrze dmyšnou soupravu složenou z odbočky, šikmého kusu, dmyšného kolena a dmyšné trubice (tzv. píšťala) do výfučen vstupuje horký vítr z okružního větrovodu. Všechny tyto součásti jsou sestaveny dohromady s dostatečnou těsností.



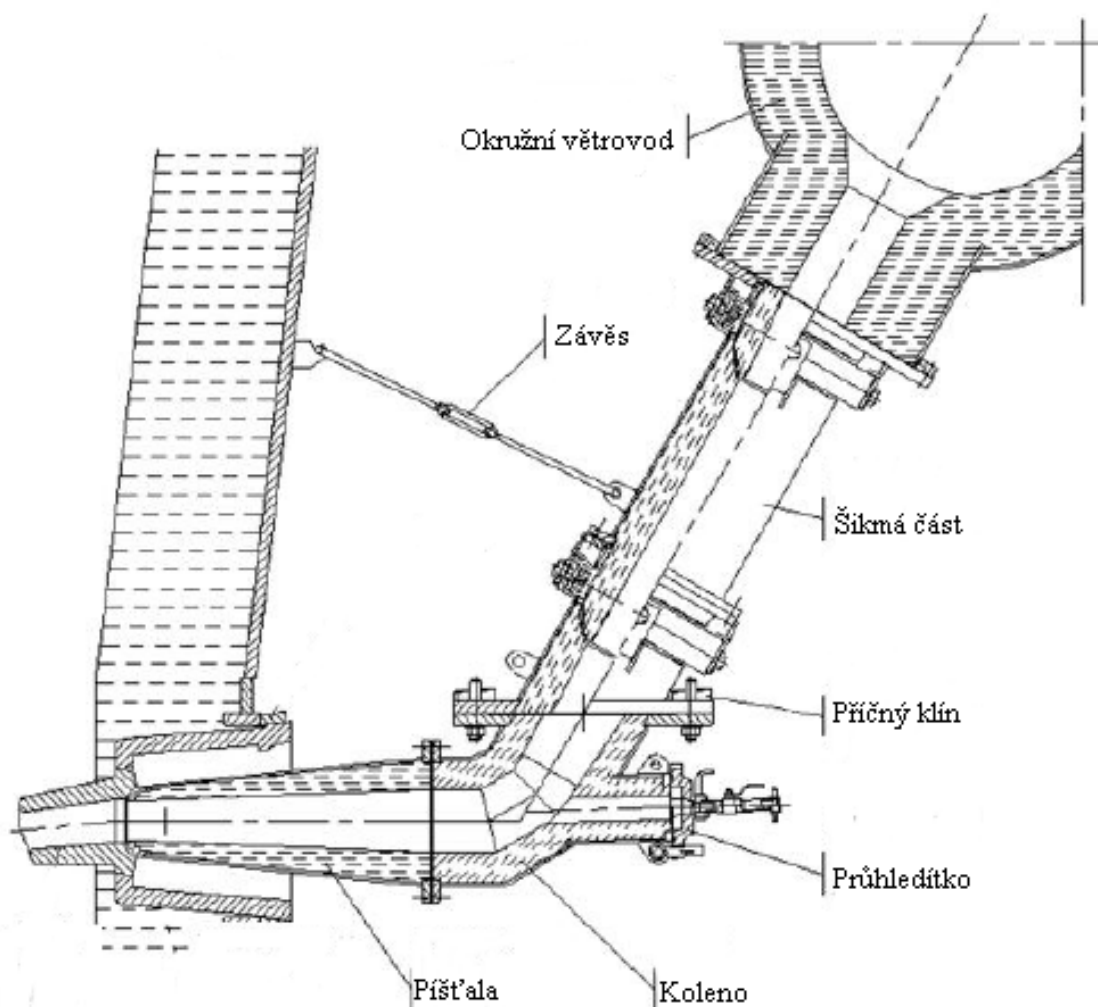
Obr. 4:2 Zabudování dmyšných souprav

Vlastní výfučna, která zasahuje do prostoru nístěje asi 0,3 m, je zasunuta do ochranné výfučny a ta je upevněna v ocelovém, nebo litinovém rámu. Obě výfučny jsou zabezpečeny vzpěrami proti vytlačení z pece tlakem plynu. Chladicí rám je pevně připojen k plášti pece. Na to navazuje konstrukce dmyšné trubice (tzv. píšťaly). Dmyšná trubice je na konci zakončena kulovitou dosedací plochou, která spojuje výfučnu a koleno. Přívod přídatných paliv (injektované uhlí) je zajištěn tryskami zavedenými, dle patentu firmy Paul Wurth, a.s., do dmyšné trubice. Koleno je připevněno k plášti vysoké pece pružinovým upínacím táhlem. Aby bylo možné kontrolovat průběh hoření, jsou v kolenech vytvořena průhledítka. Dmyšná kolena i píšťaly jsou vytvořeny jako rozebíratelná spojení. Šikmé části mají dvoukloubová uložení, která spojují okružní větrovod a kolena. Uvnitř šikmé části je zabudována Venturiho trubice pro měření tlaku. Dále tato část slouží k zachování vzdálenosti mezi okružním větrovodem a výfučnou a kompenzuje zvyšování teploty pece.

Konstrukce dmyšných souprav umožňuje pracovníkům výměnu jakékoliv její částí rychle a za použití jednoduchých nástrojů. Aktuálním trendem v konstrukci vysokých pecí je zvyšování počtu výfučen až na hranici, kterou určuje tuhost pecního pláště v oblasti

výfučen. Dmyšené soupravy nesmí svým umístěním na obvodu nístěje nadměrně snížit tuhost pláště. Počet výfučen se dá určit různými empirickými vztahy.

Celá konstrukce dmyšné soupravy (viz Obr. 4:3) je vyžděna tepelně izolačním materiálem. Součásti výfučen a někdy také rámu je samostatné intenzivní chlazení vodou. Závažným problémem u souprav i výfučen je nedostatečná životnost.



Obr. 4:3 Dmyšná souprava – řez [8]

#### 4.4 Technologické poruchy na vysokých pecích

Každé omezení nebo přerušování chodu vysoké pece, které není vyvoláno poruchou strojního zařízení, nebo příslušenstvím pece, nazýváme technologickou poruchou. Jakákoliv dlouhodobá omezení, zastavení či neperiodičnost chodu vysoké pece mají

za následek ztráty ve výrobě, zhoršenou jakost vyrobených produktů a zvýšenou spotřebu paliv. Je proto nezbytné, nenadálým technologickým odstávkám pece co nejvíce předcházet, či je odhalit v prvních stádiích, aby nedocházelo k ekonomickým ztrátám.

Mezi technologické poruchy vysoké pece zařazujeme především:

- Studený chod – časté a náhlé ochlazení spodní části pece, kdy hrozí ztuhnutí surového železa a strusky v nístěji. Nejčastější příčinou je vnikání vody z chladicího systému netěsnostmi do pecního prostoru.
- Horký chod – náhle zvyšování teploty v peci, způsobeno nadměrným množstvím paliva.
- Vnější, vnitřní a šikmý chod – není optimální rozložení plynových proudů v každém vodorovném průřezu pece.
- Zavápnění pece – nadměrná zásaditost strusky.
- Zavěšování vsázek – vzepření vsázkového sloupce o stěnu pece, která brání poklesu surovin.
- Tvorba nasazenin – nasazeniny ve tvaru prstence lpí na vyzdívce.
- Zarůstání nístěje – zmenšování objemu nístěje nasazeninou, důsledkem bývá hromadné propálení výfučen.
- Protavení nístěje – nejzávažnější technologická porucha, vzniká např. propálením vysokopecní vyzdívky.
- Exploze vysokopecního plynu.
- Propálení výfučen a jiných vodních armatur – k propálení může dojít u styku se surovým železem, nebo poruchou v přívodu chlazení. Poškozenou výfučnu je nutno hned nebo po nejbližším odpichu vyměnit. Výměna výfučny netrvá déle než 30 min, ostatní chladicí armatury jsou na výměnu časově náročnější.

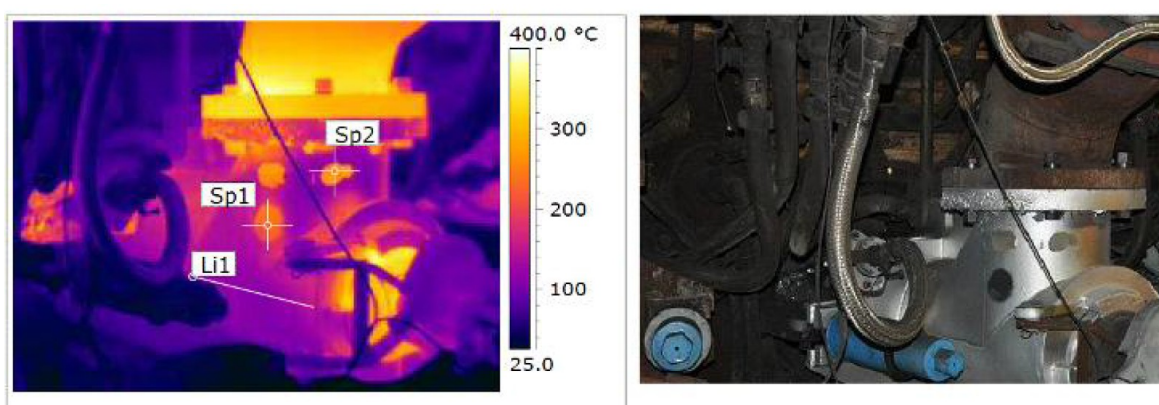
#### 4.4.1 Závady detekovatelné na dmyšných soupravách

U dmyšných souprav může nastat řada možných poruch. Například na Obr. 4:4 můžeme vidět následky lekáže (únik způsobený netěsností) v kulovém kloubu šikmého kusu.



Obr. 4:4 Kulový kloub šikmého kusu

Další častou vadou na soupravě může být vznik hotspotů (oblast zvýšeného toku tepla). Projev těchto míst můžeme vidět na Obr. 4:5.



Obr. 4:5 Hotspoty na kloubu dmyšné soupravy

Mezi tyto poruchy můžeme zařadit dále praskliny v povrchu, povolené příruby (propálení těsnění), nebo opálení sklíčka v průhledítku, což má za následek neprůhlednost.

## 5 Totálně produktivní údržba

Tato kapitola je vypracována dle zdrojů 3 a 9.

Totálně produktivní údržbou, dále jen TPM z anglického Total productive maintenance, rozumíme produktivní provoz strojů a zařízení, jejíž pilíře vidíme na Obr. 5:1 níže. Je to nástroj zlepšování a stálého zvyšování efektivity a kvality výroby. Tento směr údržby vyžaduje, abychom změnili pohled na dva celky, údržbu a obsluhu, na celek jeden a vytvořili tak aktivní skupinu. Základy pojetí TPM jsou postaveny na těchto principech:

- Zvyšování celkové účinnosti a výkonnosti zařízení snižováním poruch, zmetků, ztrát a časů pro údržbářské činnosti aj.
- Zlepšení stávající koncepce údržby, snižování nákladů.
- Rozvíjení nezávislé údržby pracovních skupin.
- Zvyšování kvalifikace, dovedností a znalostí pracovníků z hlediska údržby.
- Neustálé zlepšování přístrojů a zařízení, prodloužení celkové životnosti.



Obr. 5:1 Pilíře totálně produktivní údržby [3]

Klíčovým úkolem TPM je tedy za využití výrobních dělníků a údržbářů zlepšit výkonnost a efektivitu zařízení a pracovat ve vhodném pracovním prostředí. Z čehož vyplývá, že strategie TPM se snaží o nulový počet poruch, nedostatků, nehod a nečistot.



## 5.1 Totálně produktivní údržba Třineckých železáren

V Třineckých železárnách u vysoké pece 4 je zaveden systém TPM a to ve dvou krocích.

a) Vyhledávání abnormalit dmyšných souprav:

Kontrola PCI trysky (foukání uhlí) průhledítkem – ucpání či poškození.

Kontrola těsnosti souprav – píšťala + výfučna, píšťala + koleno, koleno + šikmá část, šikmá část + okružní větrovod.

Kontrola těsnosti – výfučen.

Kontrola kukátek – sklíček, kohoutů.

Kontrola množství větru.

b) Vyhodnocení abnormalit (2x ročně) a to jejich počty, vynaložené finanční náklady, časová náročnost, vytvoření Paretovy analýzy a analýzy celkové efektivity zařízení.

Postup vyhledávání, evidence a odstraňování abnormalit souprav vysoké pece 4 (dále jen VP) začíná zjištěním abnormality v rámci obsluhy (taviči, obsluha chlazení pece, mistři VP a zástupci). Na zjištění abnormality reagují záznamem abnormality (i okamžitě odstraněné) do systému. U souprav se abnormality neoznačují štítky, využívá se číselného označení na soupravě spolu s detailním popisem místa. Viz Obr. 5:2.



Obr. 5:2 Číselná označení souprav

## 6 Měření na vysoké peci Třineckých železáren

Tato kapitola by vytvořena dle literatury 4, 6, 7, 8, 9,12.

### 6.1 Teoretický rozbor měření

K digitálním snímkům dmyšných souprav jsem využila fotoaparát, k měření bylo využito termokamery Fluke Ti32. Fluke Corporation patří ke světovým výrobcům, distributorům a poskytovatelům služeb nejen v oblasti elektronických měřicích přístrojů, ale i softwaru. Mají velice široké uplatnění mezi uživateli, jako jsou laboranti, technici, metrologové či výrobci zdravotnických zařízení.

Termokamera pracuje na principu bezdotykového měření teploty, kdy všechny předměty, které mají vyšší teplotu, než absolutní nula (0 K), vyzařují elektromagnetické záření. Toto záření zachycené termokamerou je možné přímo zobrazit na obrazovce kamery. Výsledné snímky se ukládají do paměti. Ke každému snímku je možno pořídit hlasovou poznámku. Vyhodnocení snímků je provedeno v softwaru společnosti FLUKE – SmartView. V tomto programu nejenže můžeme snímky zobrazit, ale je možné prolínat digitální a infračervený obraz, což značně usnadňuje práci při vyhodnocování výsledků. Pomocí zvýrazňovačů a dalších vnitřních nástrojů programu je možné označovat či izolovat problematické oblasti. Nespornou výhodou firmy Fluke je, že ke každému svému výrobku mají vytvořený podrobný manuál k použití.

### 6.2 Popis měřicího přístroje



Obr. 6:1 Průmyslová termokamera FLUKE Ti32 [12]



Ovládání ruční termokamery FLUKE Ti32 (Obr. 6:1) se provádí pomocí funkčních tlačítek u displeje. Určena jsou k navigaci v menu a nastavení požadavků. Navolit můžeme teplotní stupnici v °C nebo °F, škálu barevného zobrazení či automatický nebo ruční režim měření. Kamera je ergonomicky tvarovaná jak pro leváky tak praváky a termogram pořídíme stisknutím spouště. Některé technické parametry kamery lze vyčíst v Tab. 6:1.

Tab. 6:1 Technické parametry Termokamery Fluke Ti32 [12]

Teplotní	
Teplotní rozsah	-20 až 600°C
Přesnost měření	± 2% nebo ± 2°C, hodnota vždy vyšší
Teplotní citlivost	45 mK
Provozní	
Nastavení emisivity	0,1 až 1 v krocích po 0,01
Kompenzace teploty pozadí	-50°C až 460°C
Relativní vlhkost	10 – 95 % nekondenzující
Skladovací teplota	-25 až 70°C
Doporučený kalibrační cyklus	2 roky
Optické	
Zorné pole	23°x 17°
Mechanismus ostření	Ruční, možnost obsluhy jednou rukou
Optické kamera	Průmyslový výkon, 2 Mpx
Spektrální charakteristika	7,5 µm až 14 µm (dlouhé vlny)
Prostorové rozlišení (IFOV)	1,25 mRad
Ovládání	
Teplotní stupnice	°C nebo °F
Škála zobrazení	Tavené železo, modročervená, vysoký kontrast, žlutá, obrácená žlutá, horký kov, stupnice šedi, obrácená stupnice šedi
Režimy měření	Ruční nebo automatický

### **6.3 Postup měření**

Měření bylo prováděno přímo pod vysokou pecí, kde okolní teplota i teplota měřených součástí je dost vysoká, což pro měření není úplně vhodné, protože mohou být zkresleny výsledky naměřených hodnot. Z důvodů těchto vysokých teplot nebylo možné použít k měření dotykový teploměr, jelikož parametr maximální teploty u tohoto teploměru je 200°C.

Vzhledem k tomu, že kontinuálně s měřením docházelo k odpichu surového železa z pece, nebylo možné z bezpečnostních důvodů naměřit teploty souprav č. 19 a č. 20, které se nacházejí u výpusti železa.

Dmyšné soupravy byly postupně snímány termokamerou tak, aby byla jasná povrchová teplota. Z povrchové teploty je možno určit, zda daná souprava má stále neporušenou vnitřní vyzdívku, či je nutná výměna. Kamera byla během měření nastavena na emisivitu 0,95 a odražená zdánlivá teplota činila 18°C.

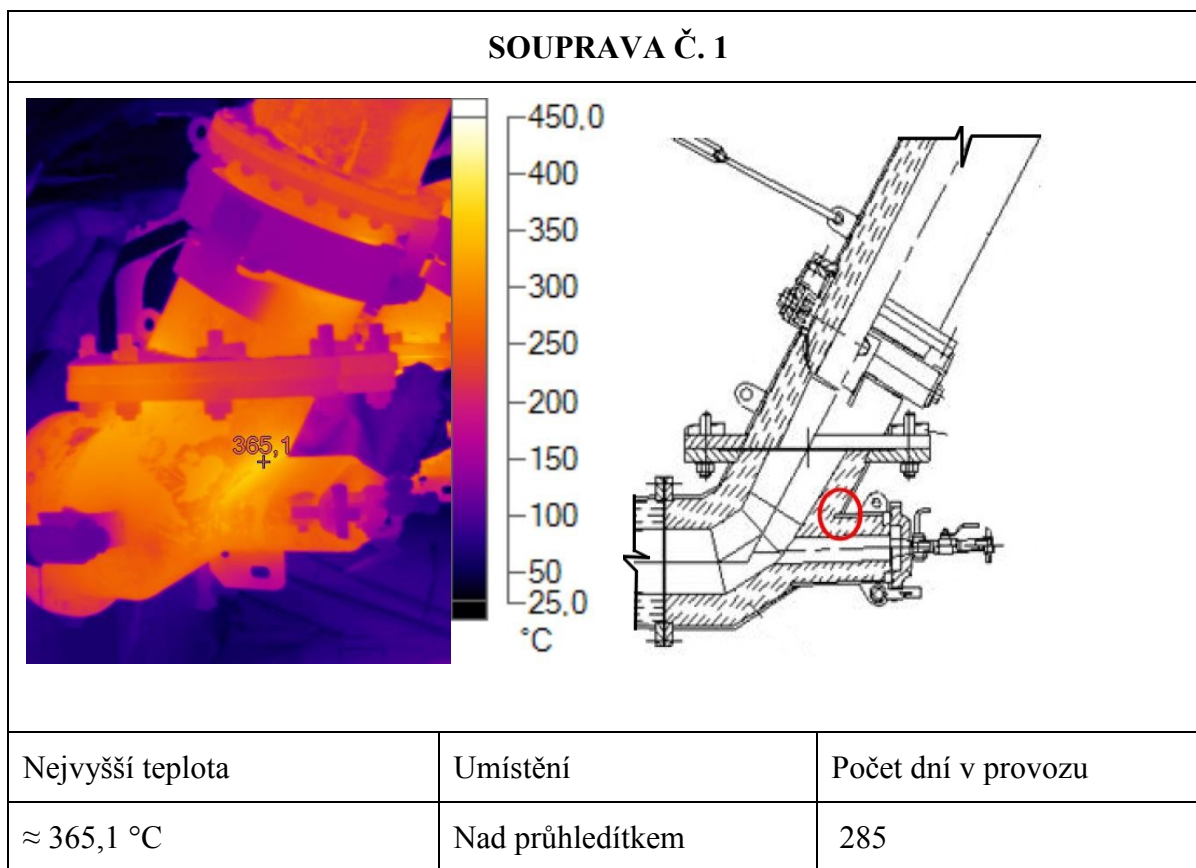
Z firemních podkladů bylo možné zjistit přibližný počet dní soupravy v provozu, díky tomu bude možné vytvořit graf přibližné zbytkové životnosti souprav (viz kapitola 6.6).

### **6.4 Naměřené hodnoty a zpracování**

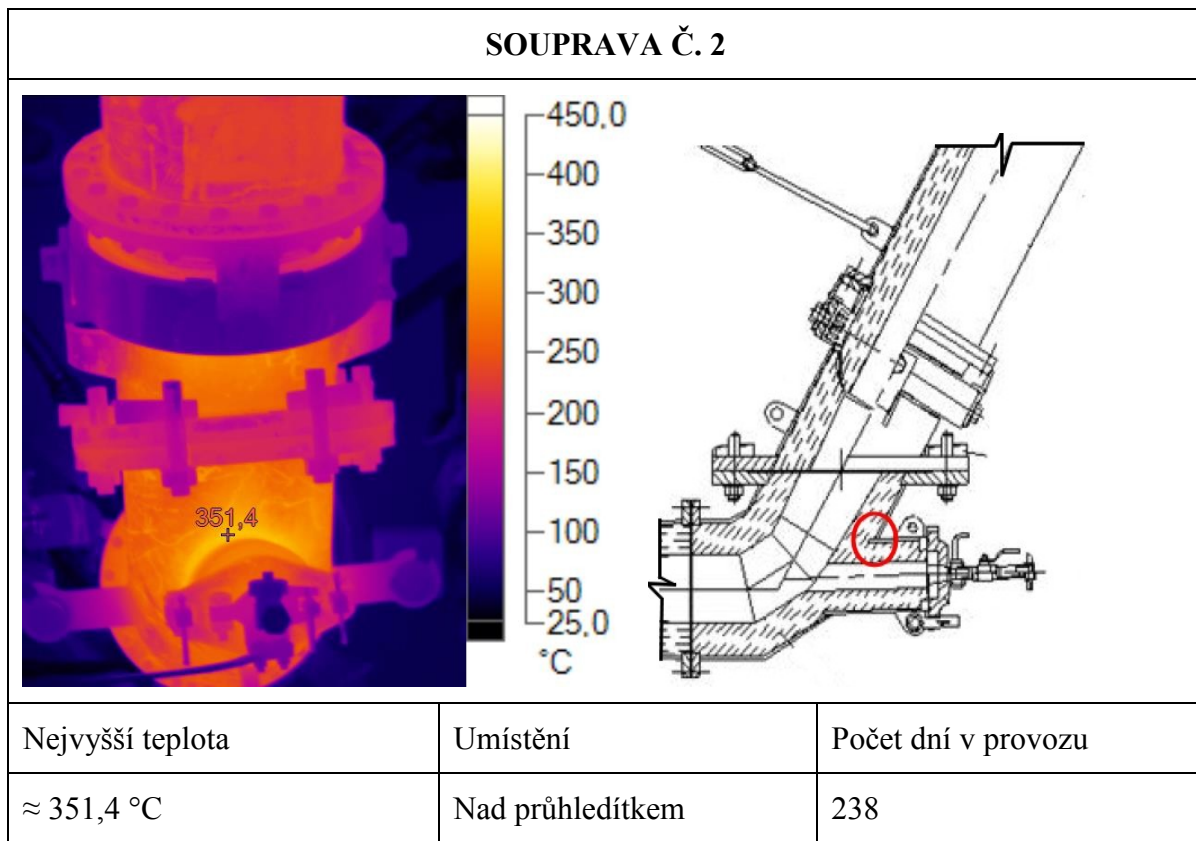
Vyhotovené snímky z termokamery byly vyhodnoceny v počítači, kdy jsem maximální teplotu na stupnici u termosnímků nastavila jako 450°C.

Termosnímký pro jednotlivé armatury jsou společně s řezem armatury, na kterém je označeno konkrétní místo s největší propustností teplot, umístěny do tabulek uvedených níže. V těchto tabulkách je také zapsána nejvyšší naměřená hodnota na soupravě a počet dní soupravy v provozu.

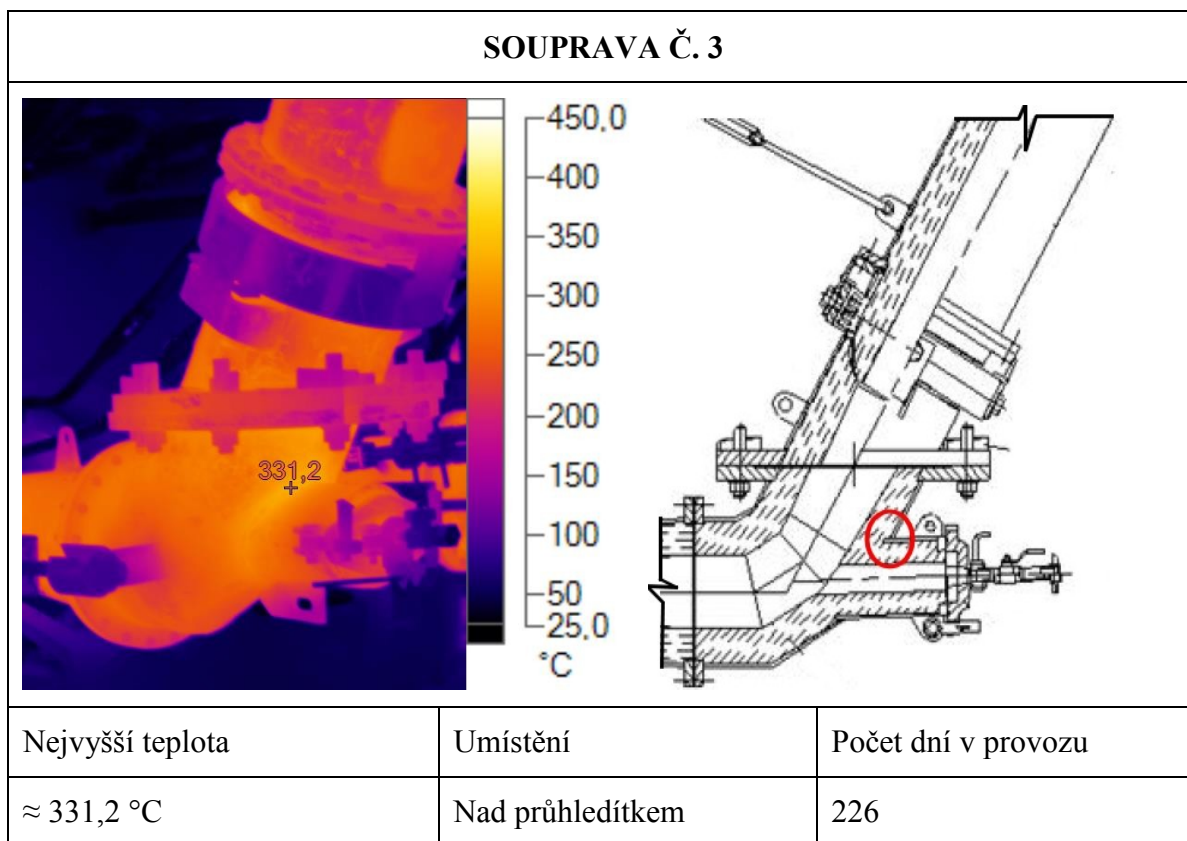
Tab. 6:2 Termosnímek 1



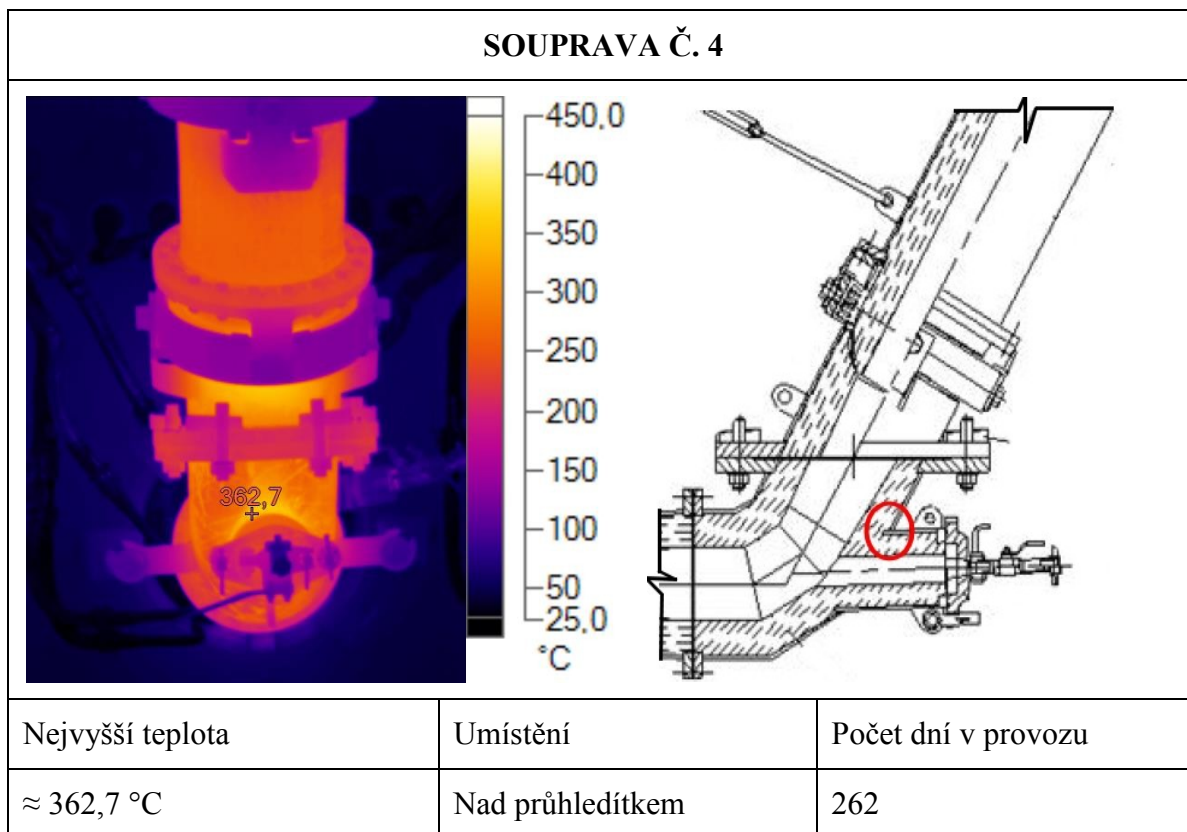
Tab. 6:3 Termosnímek 2



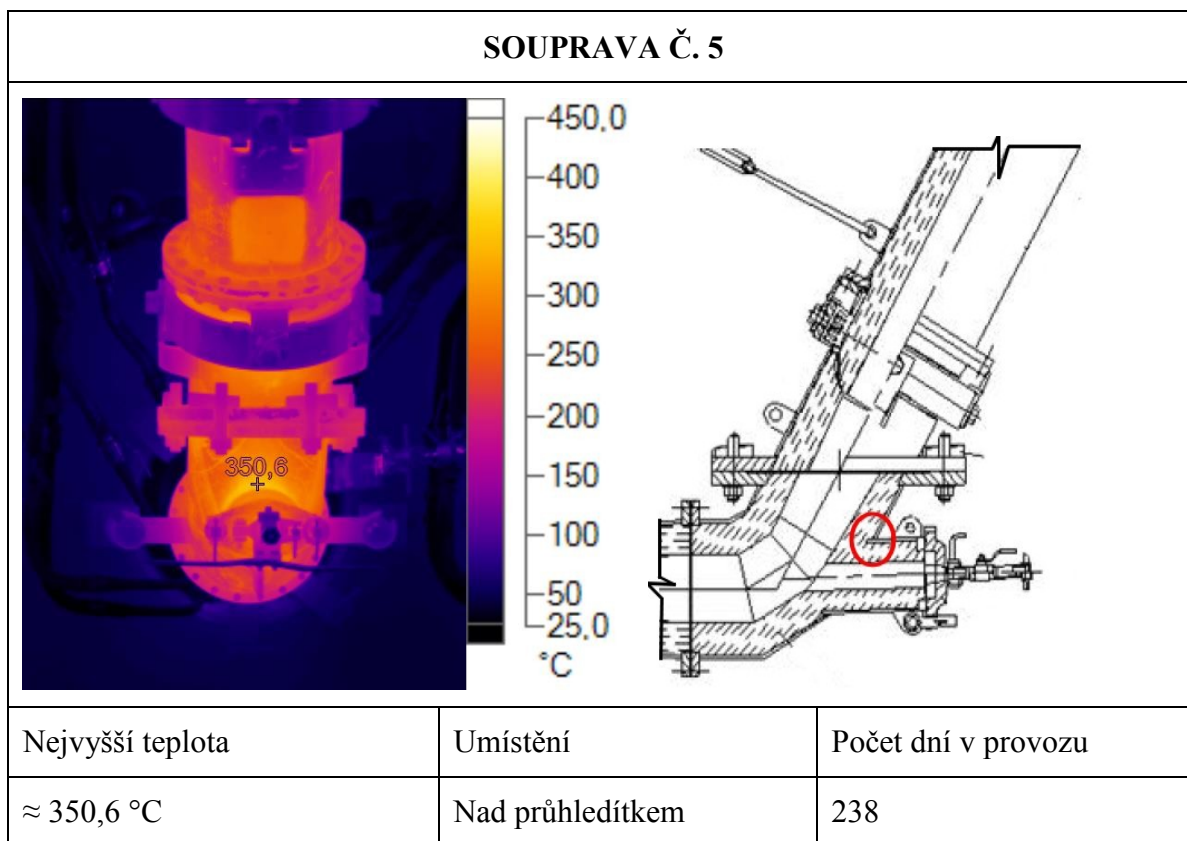
Tab. 6:4 Termosnímek 3



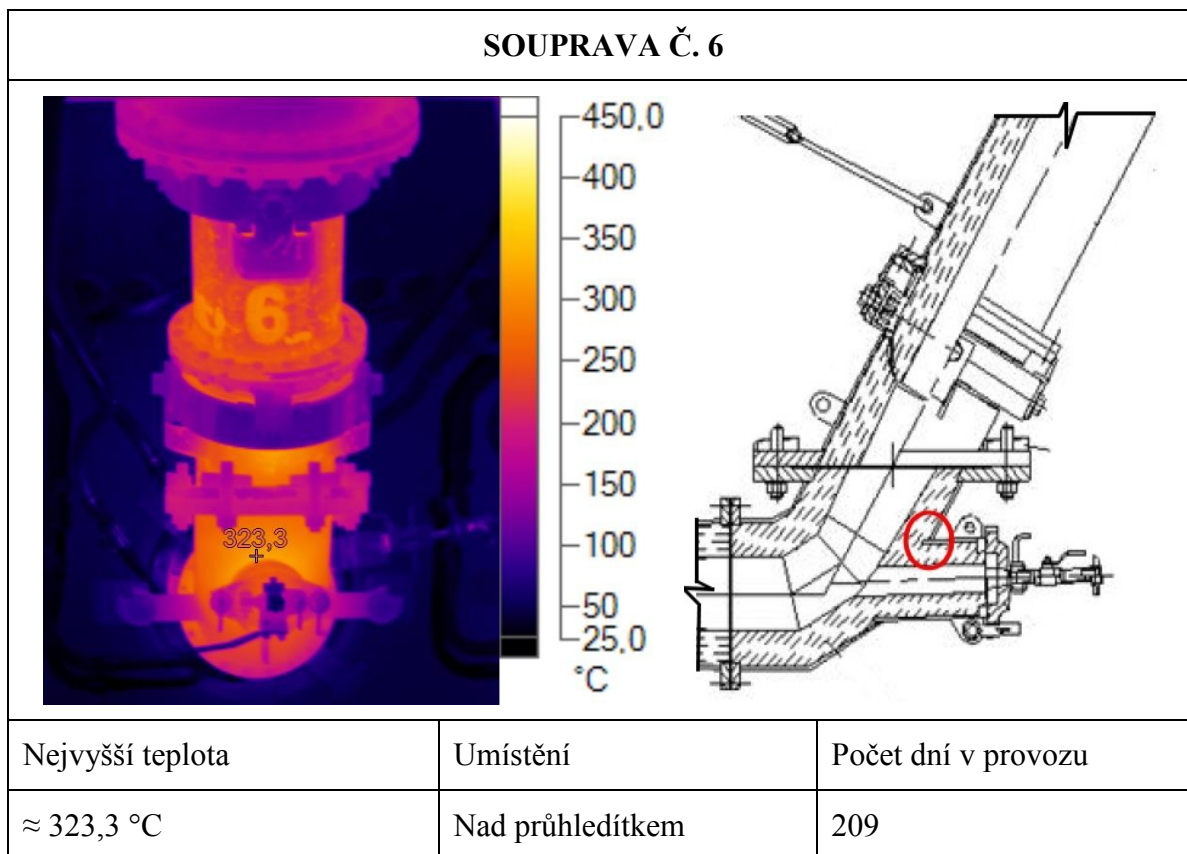
Tab. 6:5 Termosnímek 4



Tab. 6:6 Termosnímek 5

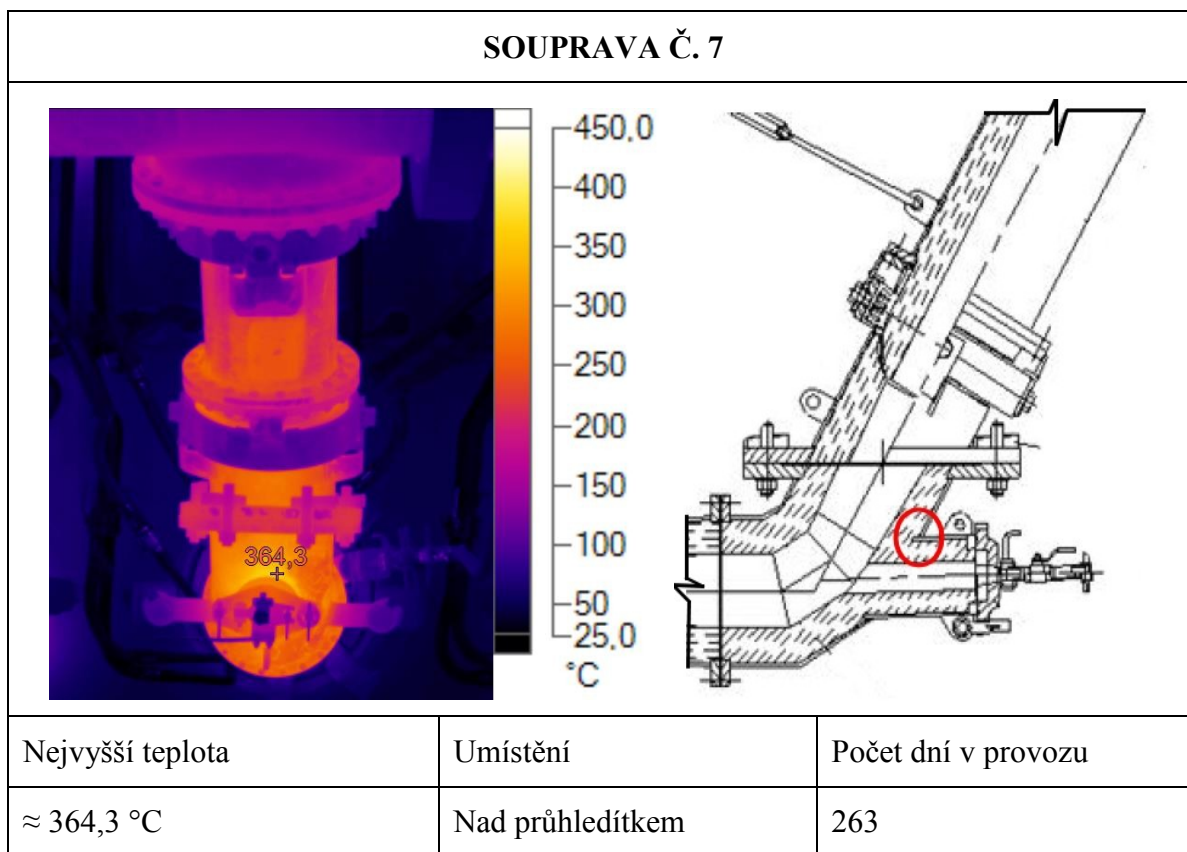


Tab. 6:7 Termosnímek 6

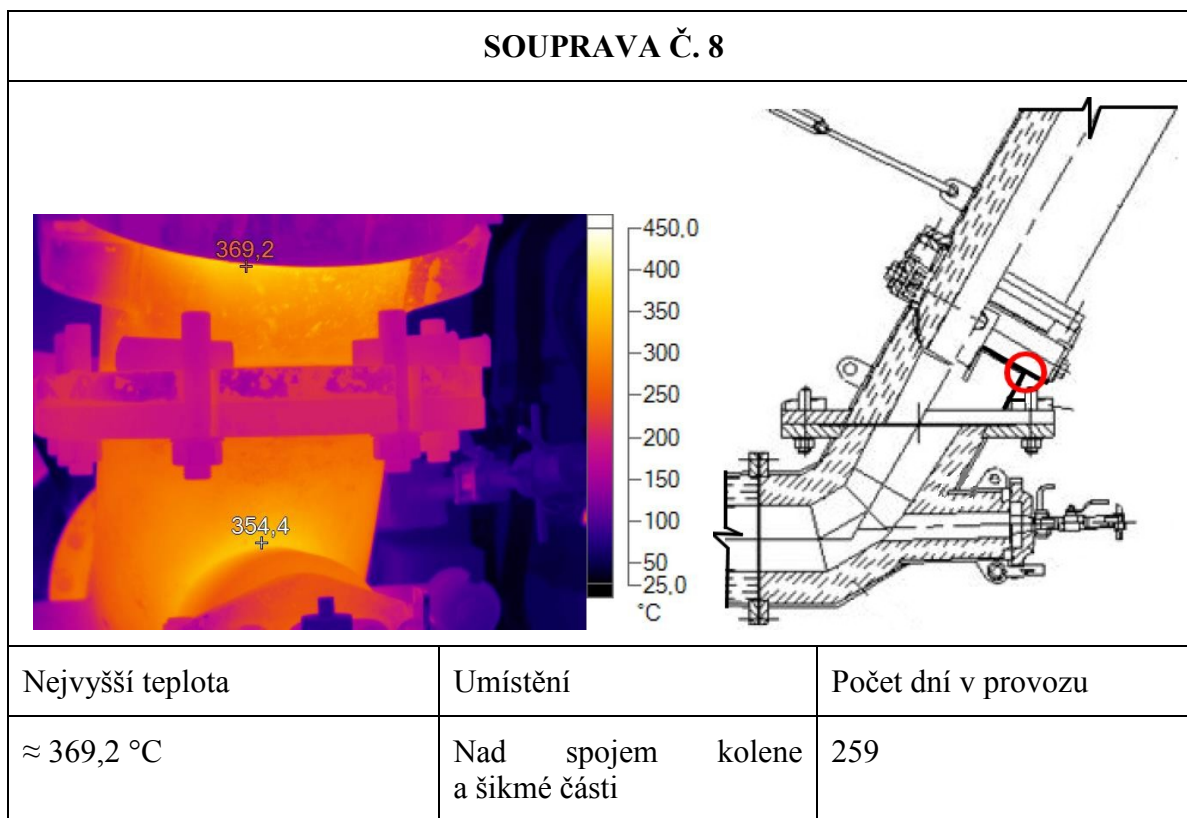




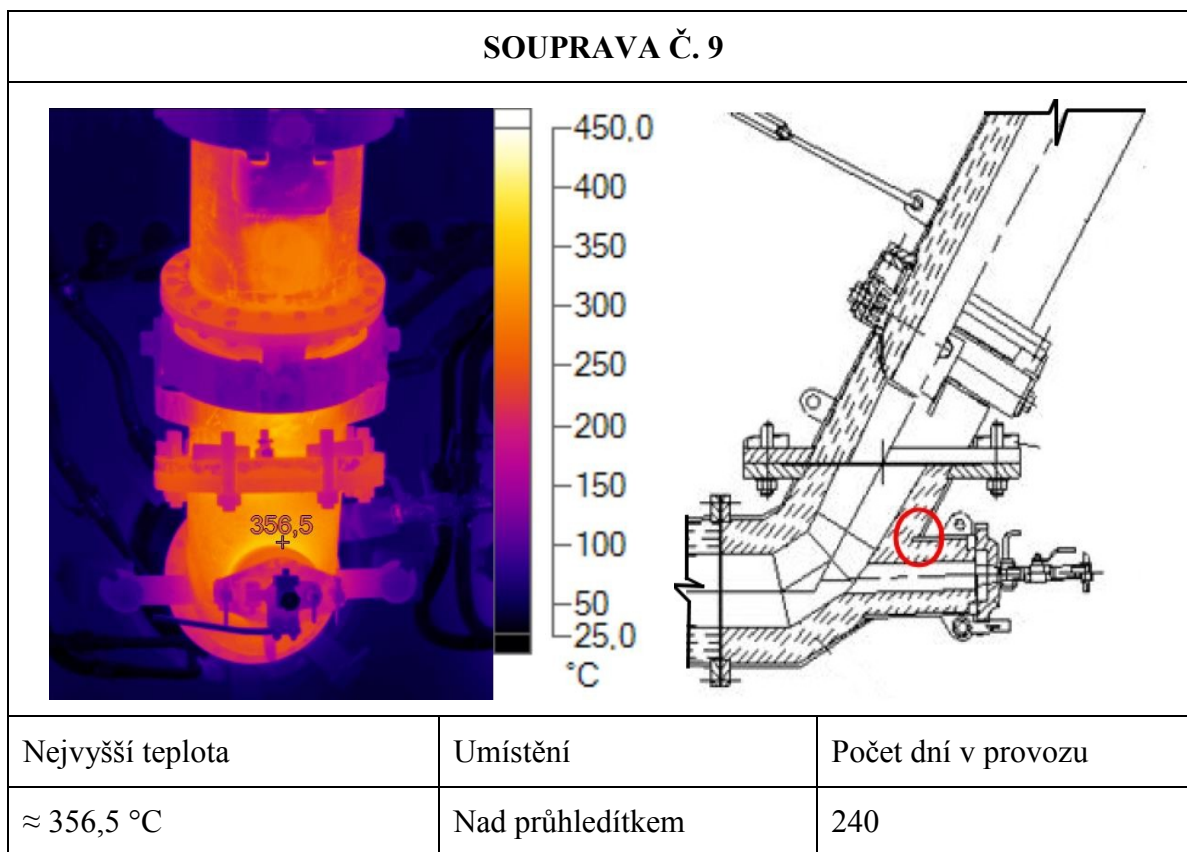
Tab. 6:8 Termosnímek 7



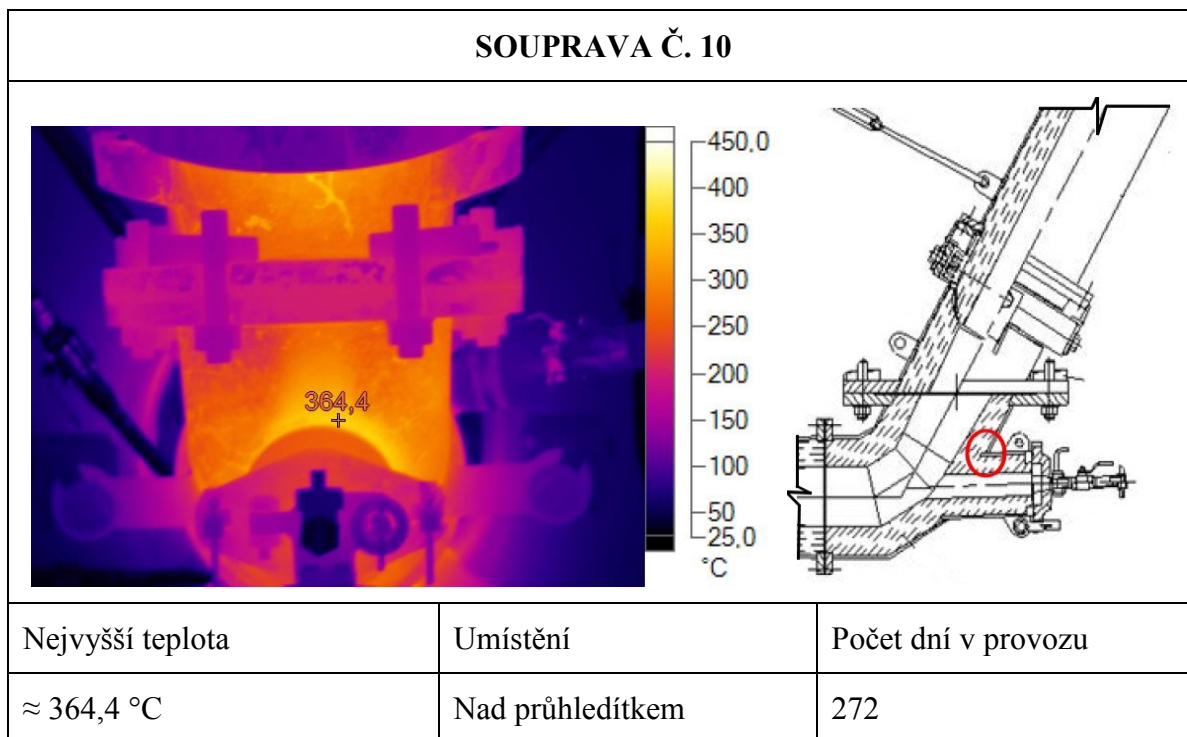
Tab. 6:9 Termosnímek 8



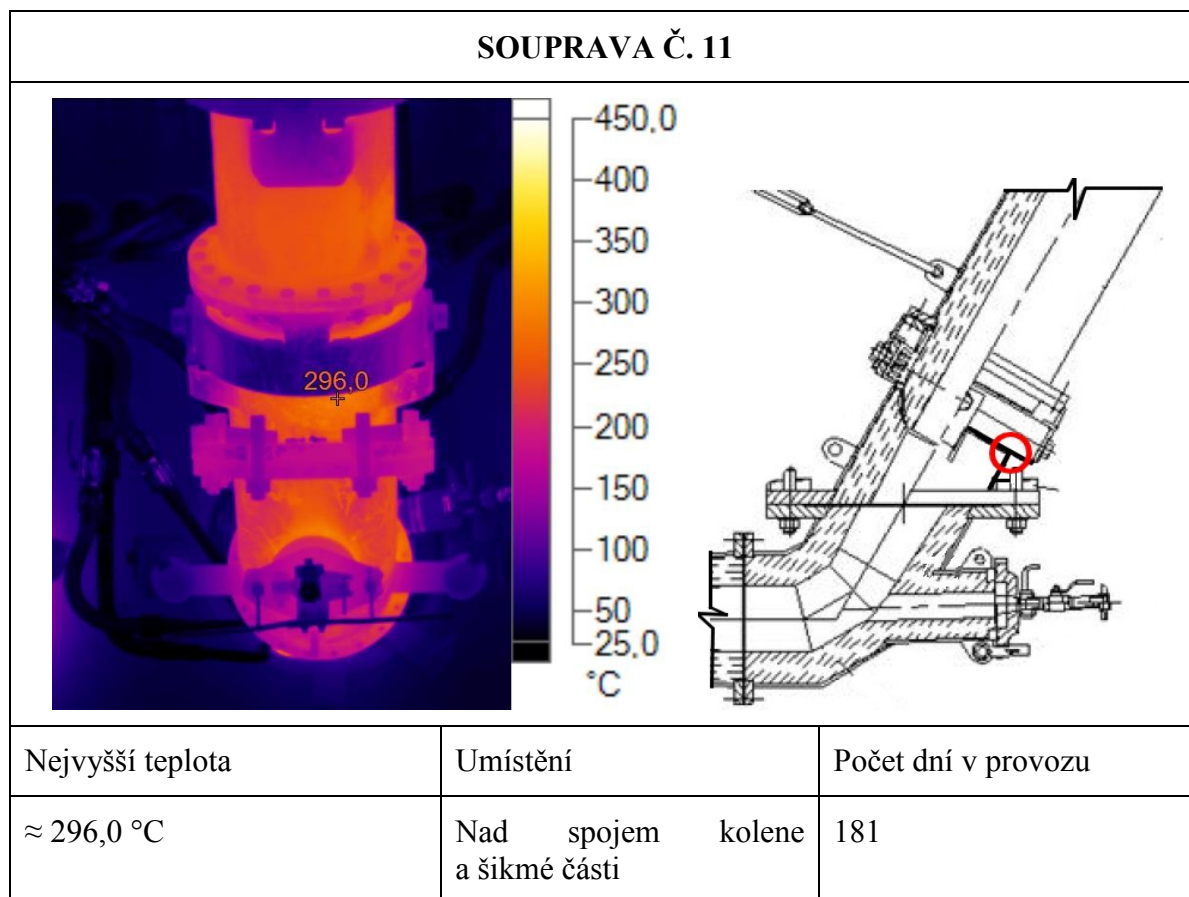
Tab. 6:10 Termosnímek 9



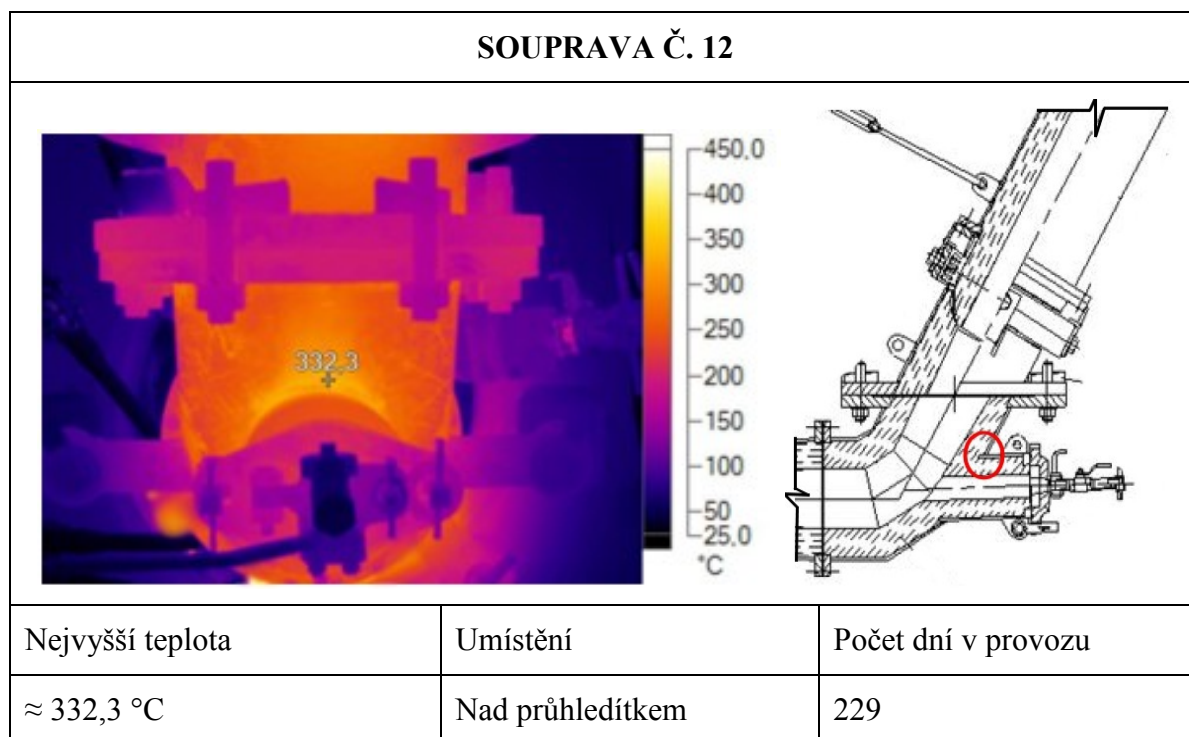
Tab. 6:11 Termosnímek 10



Tab. 6:12 Termosnímek 11

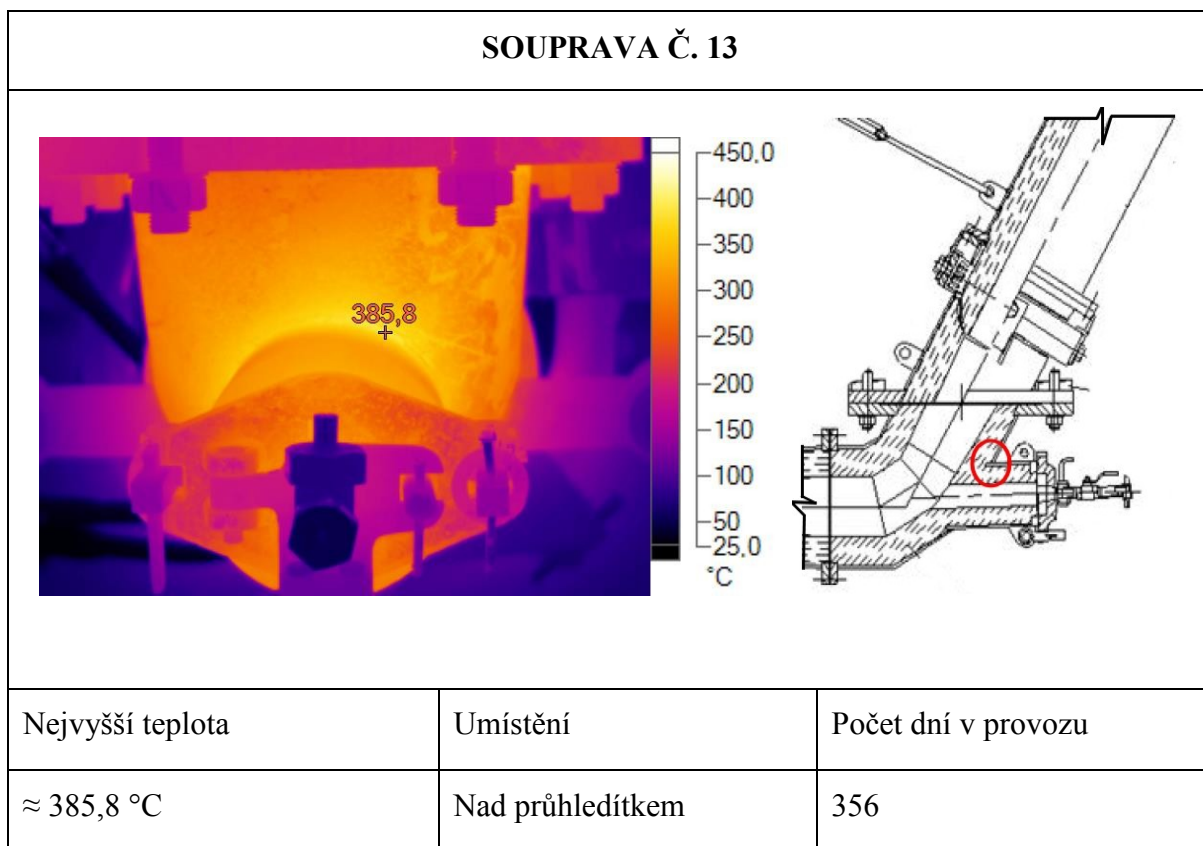


Tab. 6:13 Termosnímek 12

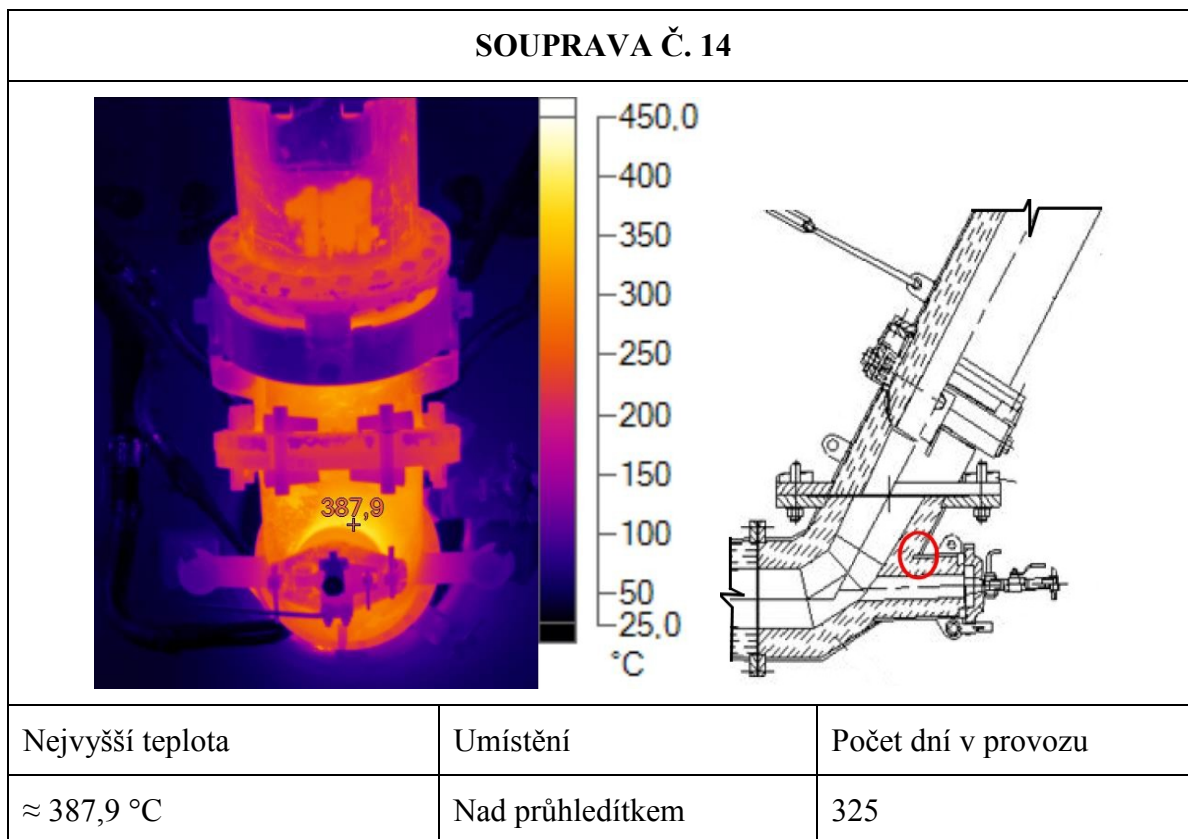




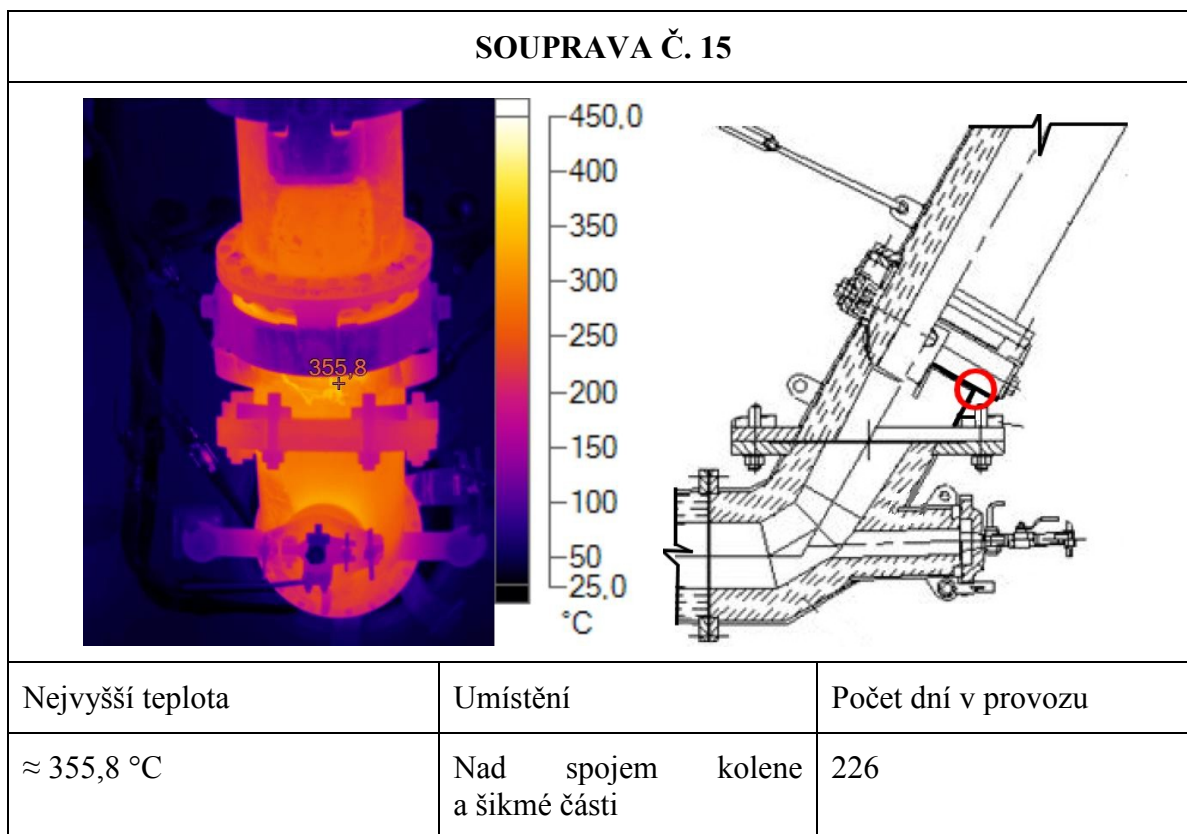
Tab. 6:14 Termosnímek 13



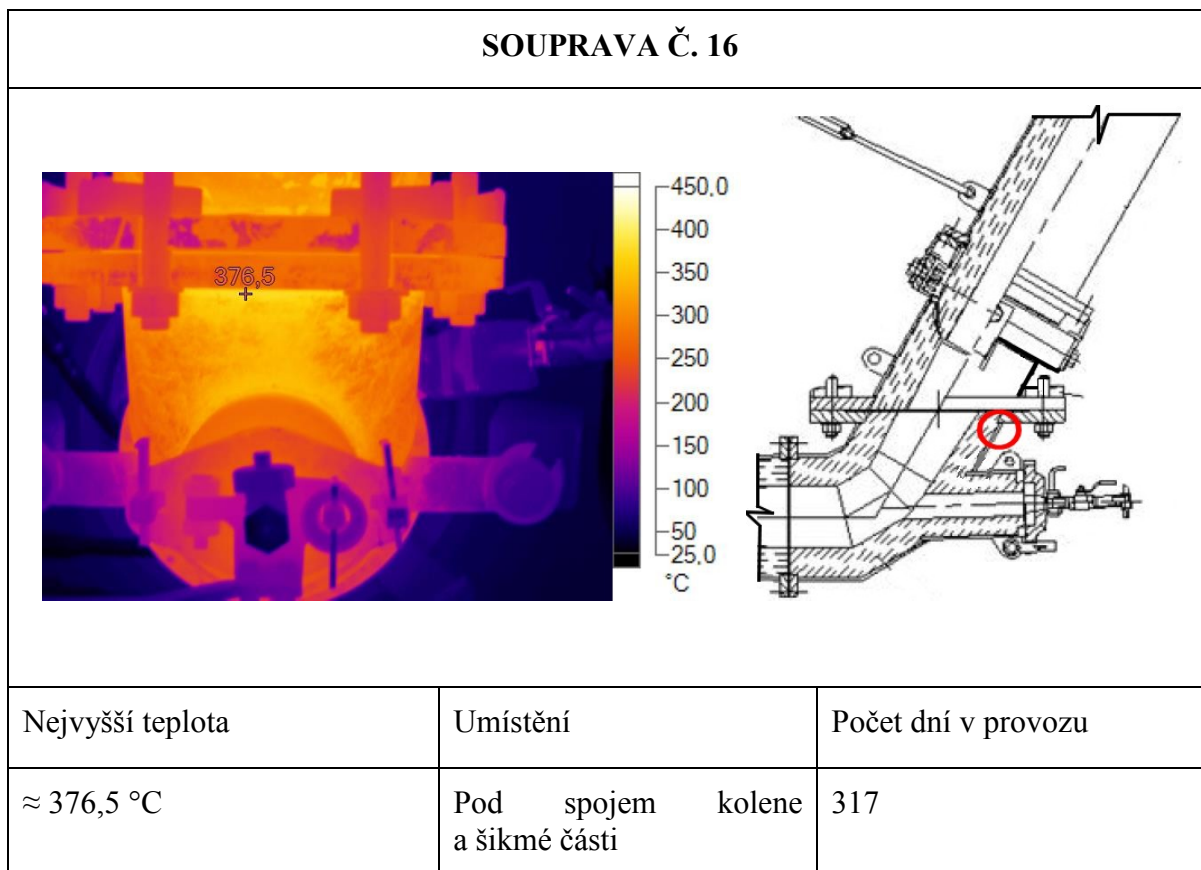
Tab. 6:15 Termosnímek 14



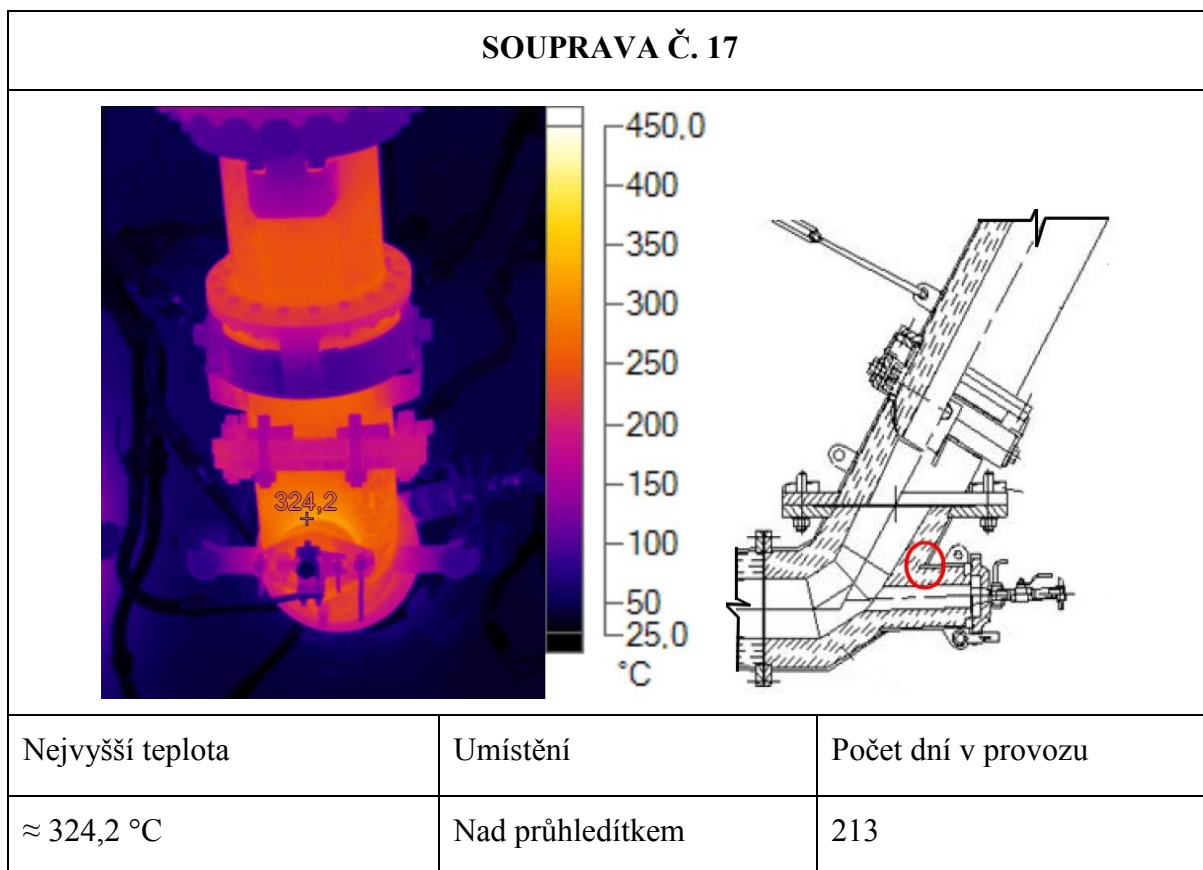
Tab. 6:16 Termosnímek 15



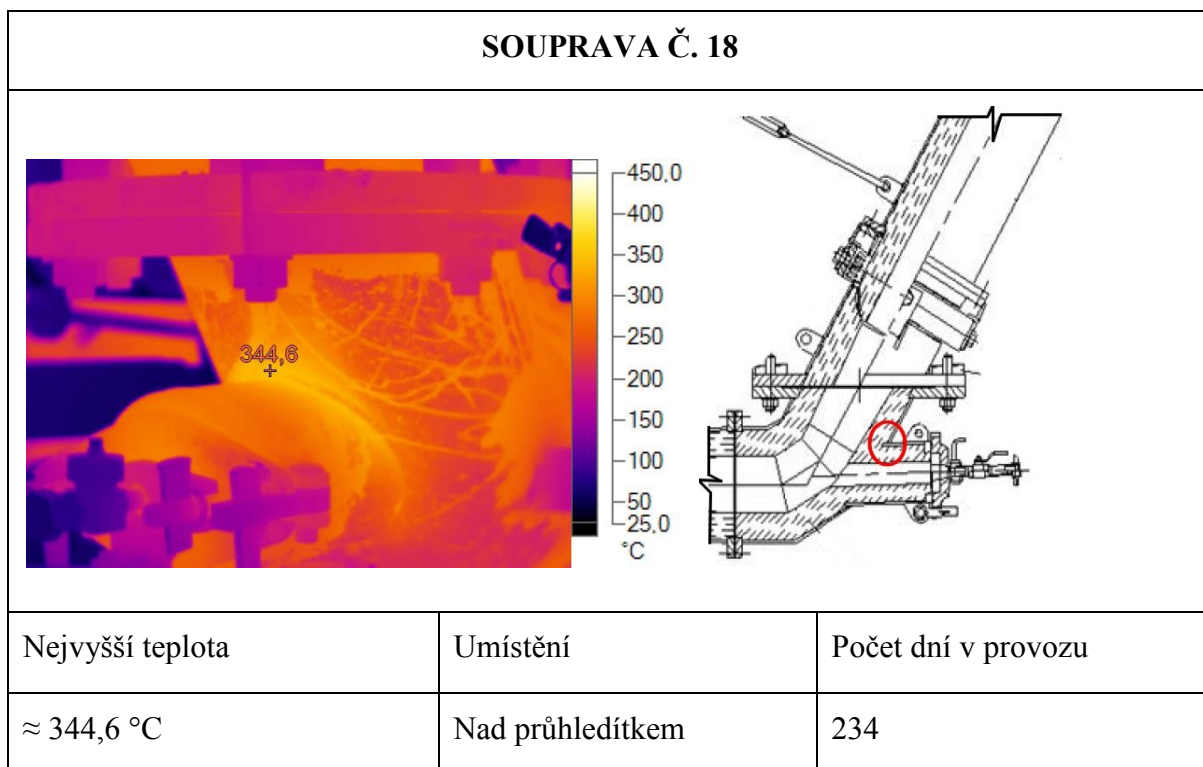
Tab. 6:17 Termosnímek 16



Tab. 6:18 Termosnímek 17



Tab. 6:19 Termosnímek 18



## 6.5 Vyhodnocení naměřených výsledků

Měření nám ukázalo, že nejkritičtějším místem je záhyb nad průzorem pro sledování hoření a to z důvodu víření horkého vzduchu v místech nejtenčí izolace, což má za následek koncentraci vysokých teplot. Jako druhé kritické místo považuji oblast nad spojem kolena a šikmé části, jako třetí kritické místo, oblast pod tímto spojem. Naměřené teploty jsem zadala do souhrnné tabulky níže.

Tab. 6:20 Souhrnná tabulka teplot

Číslo dmyšné soupravy		Nejvyšší naměřená teplota [°C]	
T < 350	T > 350	T > 370	T > 400
1	365,1		
2	351,4		
3	331,2		
4	362,7		
5	350,6		
6	323,3		
7	364,3		
8	369,2		
9	356,5		
10	364,4		
11	296		
12	332,3		
13	385,8		
14	387,9		
15	355,8		
16	376,5		
17	324,2		
18	344,6		

Z této tabulky je zřejmé, že nejvyšší teploty byly naměřeny na soupravách 13, 14 a 16, kde teploty přesahují 370 °C. K této teplotě se blíží hodnoty na soupravách 1 a 8, které přesahují 365 °C.

## 6.6 Doporučení

Dle pokynů montáž a provoz dmyšných souprav firmy Paul Wurth, a.s., by se měly pravidelně vykonávat kontroly těsnosti každých 8 hodin, kontrola přehřátých míst na všech dílech každých 24 hodin a kontrola pláště šikmého kusu, kolene a píšťaly jednou za týden.

V těchto pokynech je také uvedena hraniční teplota, při které je nutné soupravu vyměnit a ta je stanovena na 400°C.

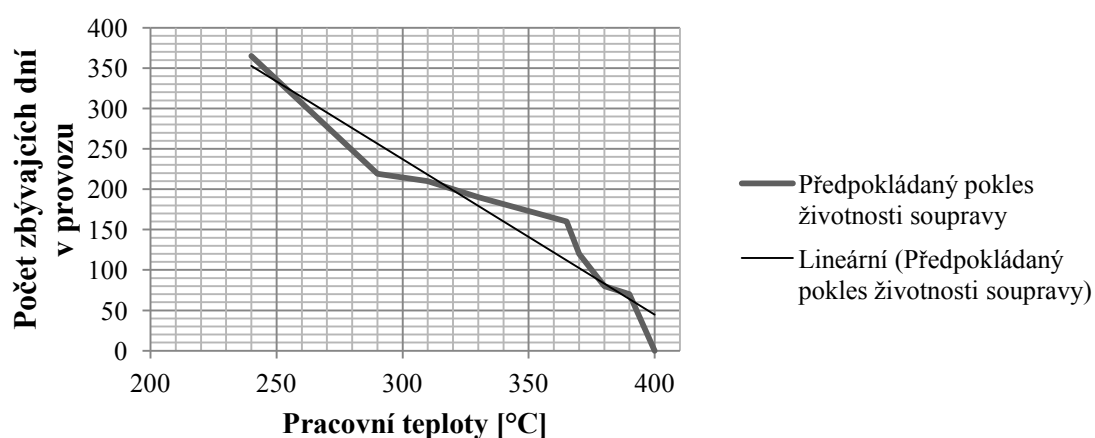
Vzhledem k tomu, že se u některých souprav teplota blíží hraniční teplotě, doporučuji zvýšit periodu kontroly zejména u souprav 13, 14 a 16, preventivně také u souprav 1 a 8. Seznam kroků pro preventivní kontroly souprav uvádím níže v Tab. 6:21. Častější kontroly navrhuji z toho důvodu, aby nedošlo k nenadálé poruše či dokonce havárii (vypálení vyzdívky, propálení těsnění). Pokud by i v dalším kontrolním období naměřená teplota vzrostla, bude nutné soupravu vyměnit.

Tab. 6:21 Seznam kroků pro preventivní kontroly souprav

Teplota	Perioda kontrol
> 380 °C	12 hod
> 390 °C	6 hod
> 395 °C	3 hod
> 400 °C	výměna soupravy

Životnost dmyšné soupravy závisí zejména na kvalitě používaných materiálů vyzdívky a na kvalitě vyzdívání. Významně však životnost ovlivňuje i změna teplot, která přichází s chladnutím pece během odstávky a zpětné ohřátí na vysoké teploty během náběhu. Dle výše uvedeného, je vytvořen Graf 6:1 s předpokládanou zbytkovou životností. Ten ukazuje závislost teploty souprav na délce provozuschopnosti soupravy. Pokud tedy na soupravě naměříme teplotu například 370 °C, můžeme předpokládat, že zbývající počet dní v provozu je přibližně 100.

Graf 6:1 Předpokládaná zbytková životnost soupravy



## **Závěr**

Jako cíl práce byla stanovena termodiagnostika dmyšné soupravy, která je součástí vysoké pece. Po shrnutí základů problematiky se ukázala jako nejvhodnější metoda termografie, jež má poměrně značnou ekonomickou i časovou úspornost.

Termosnímky sice neprokázaly vznik kritických vad, jako jsou hotspoty, či lekáž, ale projevíly se oblasti se zvýšenými teplotami. Ty se nachází nad průhledítkem, pod i nad spojem kolene a šikmé části a vznikají jako následek víření horkého vzduchu v soupravě, který se následně snaží vytlačit místem nejtenčí izolace. Tento nežádoucí jev je způsoben z konstrukčních důvodů a nelze mu nikterak zabránit. Ošetřit však můžeme vznik situací, jako jsou značné finanční škody, zhoršená jakost produktů, ztráty ve výrobě, zvýšená spotřeba paliv a zejména vznik bezpečnostních rizik. Vyvarovat se těmto nežádoucím okolnostem je možné důslednou péčí o součásti a řádnými kontrolami v intervalech daných výrobcem. Správně a pečlivě dodržovanými stanovenými provozními podmínkami a předpisy pro montáž, zatěžování, obsluhu a údržbu, také zajistíme vyšší životnost souprav.

Na základě provedeného měření jsem rozhodla o zvýšení frekvence, se kterou se vykonávají kontroly pláště celé soupravy. Zvláště kvůli lepší předvídatelnosti chování vad. Snadněji tak bude možné vytvořit harmonogram oprav, objednat nové díly dmyšných souprav s předstihem, čímž můžeme snížit dobu odstávky pece.

Závěrem bych chtěla podotknout, že je nutné uvědomit si, že časná diagnostika nám poskytuje příležitost pro zjištění primární příčiny poruchy a její stádium, zvláště u snadněji řešitelných vad. Poté můžeme postupovat tak, abychom se vyhnuli dalším snížením funkčnosti. Zvýšit intervaly kontrol po prvním projevu poškození nám dá dobrou představu o tom, zda se jedná o stabilizovaný či postupující proces.



## Seznam použité literatury

- [1] LIŠKA, Miroslav a Zdeněk SLÁDEK. Spolehlivost a technická diagnostika. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1989, 146 s. ISBN 80-214-1047-7.
- [2] HELEBRANT, František a kol.: Technická diagnostika a spolehlivost – V. Termografie. VŠB-TU Ostrava 2008, 1. vydání, 72s., ISBN 978-80-248-1942-6.
- [3] HELEBRANT, F.: Technická diagnostika a spolehlivost – IV. Provoz a údržba strojů. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2008, 1. vydání, 130 s., ISBN 978-80-248-1690-6.
- [4] BROŽ, Ludvík, Jiří BILÍK a Ján KRET. Vysokopeční výroba železa. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1985, 231 s.
- [5] JAMRICHOVÁ, Zuzana, Jiří STODOLA a Petr STODOLA. Diagnostika strojov a zariadení. 1. vyd. Žilina: EDIS - vydavateľstvo ŽU, 2011, 280 s. ISBN 978-80-554-0385-4.
- [6] BISWAS, A. Principles of blast furnace ironmaking: theory and practice. Brisbane, Australia: Cootha, 1981. ISBN 0949917087.
- [7] JIRÁSEK, J., VAVRO, M.: Nerostné suroviny a jejich využití. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3.
- [8] Firemní podklady společnosti Paul Wurth, a.s.
- [9] Firemní podklady společnosti Třinecké železářny, a.s.
- [10] SOUKENÍK, Marek. Převody fyzikálních jednotek [online]. [cit. 19.4.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.prevod.cz/teplomer.gif>
- [11] KREIDL, M. Měření teploty. 1. vyd., Praha: BEN, 2005, 240 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [12] FLUKE. Měřicí přístroje [online]. [cit. 20.4.2016]. Dostupný na WWW: <http://www.fluke.com/fluke/czcs/home/default>

## Seznam použitých obrázků

Obr. 1:1 - Logo společnosti Paul Wurth, a.s. [8] .....	12
Obr. 1:2 Letecký snímek města Třinec [9].....	13
Obr. 3:1 Světelné spektrum.....	18
Obr. 3:2 Bezkontaktní měření teploty u vysoké pece .....	19
Obr. 3:3 Porovnání teplotních stupnic [10].....	20
Obr. 3:4 Základní měřicí řetězec.....	21
Obr. 4:1 Konstrukce vysoké pece [4].....	24
Obr. 4:2 Zabudování dmyšných souprav .....	26
Obr. 4:3 Dmyšná souprava – řez [8] .....	27
Obr. 4:4 Kulový kloub šikmého kusu .....	29
Obr. 4:5 Hotspoty na kloubu dmyšné soupravy.....	29
Obr. 5:1 Pilíře totálně produktivní údržby [3].....	30
Obr. 5:2 Číselná označení souprav.....	31
Obr. 6:1 Průmyslová termokamera FLUKE Ti32 [12] .....	32



## Seznam použitých tabulek

Tab. 4:1 Technické parametry [9] .....	25
Tab. 6:1 Technické parametry Termokamery Fluke Ti32 [12].....	33
Tab. 6:2 Termosnímek 1 .....	35
Tab. 6:3 Termosnímek 2 .....	35
Tab. 6:4 Termosnímek 3 .....	36
Tab. 6:5 Termosnímek 4 .....	36
Tab. 6:6 Termosnímek 5 .....	37
Tab. 6:7 Termosnímek 6 .....	37
Tab. 6:8 Termosnímek 7 .....	38
Tab. 6:9 Termosnímek 8 .....	38
Tab. 6:10 Termosnímek 9 .....	39
Tab. 6:11 Termosnímek 10 .....	39
Tab. 6:12 Termosnímek 11 .....	40
Tab. 6:13 Termosnímek 12 .....	40
Tab. 6:14 Termosnímek 13 .....	41
Tab. 6:15 Termosnímek 14 .....	41
Tab. 6:16 Termosnímek 15 .....	42
Tab. 6:17 Termosnímek 16 .....	42
Tab. 6:18 Termosnímek 17 .....	43
Tab. 6:19 Termosnímek 18 .....	43

Tab. 6:20 Souhrnná tabulka teplot .....	44
Tab. 6:21 Seznam pro preventivní kontroly souprav .....	45

## **Seznam použitých grafů**

Graf 6:1 Životnost .....	45
--------------------------	----